

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE CIVIL**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**“CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**  
**MEDIANTE LA OBTENCIÓN DE CURVAS MAESTRAS DE**  
**MÓDULO DINÁMICO”**

**AUTORES**

**NATHALY SOFÍA NOBOA LÓPEZ**

**CARLOS EDUARDO VEGA NARANJO**

**DIRECTOR: ING. GUSTAVO YÁNEZ**

**QUITO, 2014**

## **DEDICATORIA**

En primero lugar, dedicamos la presente disertación de grado a Dios, que mediante sus bendiciones ha sabido guiarnos por el camino correcto dándonos la fuerza de voluntad para lograr nuestro objetivo, y la humildad para ofrecer nuestro esfuerzo y trabajo en servicio de la sociedad.

Como también dedicamos este trabajo a nuestras familias, con especial mención a nuestros padres, quienes con su esfuerzo y apoyo incondicional nos han ayudado a cumplir nuestros sueños, y con su amor nos han inculcado los mejores valores para realizar nuestras labores con responsabilidad y consciencia social.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por la formación recibida en todos los años de estudio, tanto académica como personal.

A nuestras familias, que gracias a su apoyo moral y ayuda constante durante toda nuestra formación académica estuvieron presentes alentándonos a continuar y preocupándose siempre por nuestro bienestar.

Agradecemos a nuestro director de la disertación de grado Ing. Gustavo Yáñez, que nos brindó siempre las facilidades para continuar con nuestro proyecto, estando presto siempre a ayudarnos. Como también a nuestros correctores, Ing. Patricio Castro que durante toda nuestra carrera supo ayudarnos dentro y fuera de las aulas. De manera especial al Ing. José Segovia quien siempre estuvo dispuesto a ayudarnos y guiarnos, para que este proyecto se culminara con éxito.

Finalmente, agradecemos a nuestros amigos, quienes con su ayuda hicieron que la experiencia universitaria sea inolvidable y que siempre será recordada en nuestros corazones.

# ÍNDICE

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO .....	3
1.1. ASPECTOS GENERALES .....	3
1.1.1. Introducción .....	3
1.1.2. Alcance .....	4
1.1.3. Objetivos.....	5
1.1.3.1. Objetivo general.....	5
1.1.3.2. Objetivos específicos .....	5
1.2. MÓDULO DINÁMICO .....	5
1.2.1. Definición .....	5
1.2.2. Expresiones Matemáticas .....	9
1.2.3. Usos .....	10
1.3. DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA CURVA MAESTRA.....	11
1.4. DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS A UTILIZAR .....	18
1.4.1. MEZCLA 1: Calle Cusubamba / Contratista PCV / Planta Naranjo-López.....	20
1.4.2. MEZCLA 2: Pavimentación Pifo – Colibrí/ Contratista HCC/ Planta El Colibrí	24
1.4.3. MEZCLA 3: Amaguaña/ Contratista EQFALTO/ Planta Llano Chico.....	28
CAPÍTULO II.....	32
ENSAYOS DE LABORATORIO.....	32
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA.....	32
2.1.1. Rice .....	32
2.1.2. Contenido de asfalto mediante el uso del horno de ignición .....	39
2.1.3. Gravedad Específica Bulk .....	43
2.2. MÓDULO DINÁMICO .....	47
2.2.1. Norma de referencia.....	47
2.2.2. Alcance .....	47
2.2.3. Significado y uso .....	47
2.2.4. Equipos necesarios.....	47

2.2.5.	Preparación de las muestras .....	50
2.2.6.	Procedimiento de ensayo .....	53
CAPÍTULO III .....		57
TABULACIÓN, ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO .....		57
3.1.	Caracterización de la mezcla .....	57
3.1.1.	MEZCLA 1 .....	57
3.1.2.	MEZCLA 2 .....	71
3.1.3.	MEZCLA 3 .....	86
3.2.	Módulo Dinámico .....	101
3.2.1.	Tabulación de datos .....	101
3.2.2.	Generación del programa en Excel para la función sigmoideal .....	106
3.2.3.	Generación de la curva maestra .....	108
3.2.4.	Análisis de Resultados obtenidos en laboratorio .....	121
3.2.5.	Análisis de las Curvas Maestras .....	125
CAPÍTULO IV .....		129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		130
4.1.	Conclusiones .....	130
4.2.	Recomendaciones .....	131
BIBLIOGRAFÍA .....		133
ANEXOS .....		136

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Diagrama Módulo Complejo.....	7
Figura 1.2.	Cargas Cíclicas.....	8
Figura 1.3.	Representación gráfica de la Función Sigmoideal.....	14
Figura 1.4.	Ordenadas Del Módulo Dinámico Originales.....	16
Figura 1.5.	Ordenadas Del Módulo Dinámico Aplicado el Shift Factor.....	16
Figura 1.6.	Gráfico Shift Factor versus Temperatura.....	17
Figura 1.7.	Implantación General.....	19
Figura 1.8.	Ubicación Calle Cusumbamba.....	21
Figura 1.9.	Ubicación Vía Pifo / Colibrí .....	25
Figura 1.10.	Ubicación Vía Pifo / Colibrí .....	29

Figura. 3.1. Granulometría mezcla 1 en escala semi-logarítmica.....	57
Figura. 3.2. Granulometría mezcla 1 .....	58
Figura. 3.3. Granulometría mezcla 2 en escala semi - logarítmica .....	72
Figura. 3.4. Granulometría mezcla 2 .....	73
Figura. 3.5. Granulometría mezcla 3 en escala semi - logarítmica .....	87
Figura. 3.6. Granulometría mezcla 3 .....	88
Figura. 3.7. Curva Maestra de la muestra T1 .....	109
Figura. 3.8. Curva Maestra de la muestra T2 .....	109
Figura. 3.9. Curva Maestra de la muestra T3 .....	111
Figura. 3.10. Curva Maestra Mezcla 1 .....	112
Figura. 3.11. Curva Maestra de la muestra CP1 .....	113
Figura. 3.12. Curva Maestra de la muestra CP2.....	114
Figura. 3.13. Curva Maestra de la muestra CP3.....	115
Figura. 3.14. Curva Maestra de la Mezcla 2.....	116
Figura. 3.15. Curva Maestra de la muestra A1 .....	117
Figura. 3.16. Curva Maestra de la muestra A2.....	118
Figura. 3.17. Curva Maestra de la muestra A3.....	119
Figura. 3.18. Curva Maestra de la Mezcla 3.....	120
Figura. 3.19. Curva Maestra de las tres mezclas .....	127

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍA

Fotografía 1.1. Ubicación de la placa frente a la Finisher .....	21
Fotografía 1.2. Obtención de la muestra con la ayuda de la placa .....	22
Fotografía 1.3. Bandejas cubiertas con papel aluminio.....	22
Fotografía 1.4. Ubicación de la placa delante de la Finisher .....	26
Fotografía 1.5. Ubicación de la placa delante de la Finisher .....	29
Fotografía 1.6. Extracción de la muestra en campo .....	30
Fotografía. 2.1 Muestra sumergida en Baño María.....	34
Fotografía. 2.2. Sistema de máquina agitadora y recipiente de vacío. ....	34
Fotografía. 2.3. Contenedor con la muestra y agua sobre la balanza. ....	37
Fotografía. 2.4. Muestra secándose mediante el uso del ventilador. ....	38
Fotografía. 2.5. Fotografía del horno de ignición.....	40

Fotografía. 2.6. Fotografía del conjunto de la canastilla. ....	40
Fotografía. 2.7. Fotografía de Canastilla de Seguridad .....	41
Fotografía. 2.8. Fotografía de Canastilla y Balde.....	44
Fotografía. 2.9. Fotografía de Muestras después de ser cortadas .....	46
Fotografía. 2.10. Fotografía del Sistema de ensayo .....	48
Fotografía. 2.11. Fotografía del compactador giratorio.....	51
Fotografía. 2.12. Fotografía Perforación del Núcleo.....	52
Fotografía. 2.13. Fotografía Colocación de Apoyos Metálicos.....	53
Fotografía. 2.14. Fotografía de la muestra con las platinas.....	54
Fotografía. 2.15. Fotografía de las muestras y del espécimen de control .....	56
Fotografía. 3.1. Fotografía de las probetas de la mezcla 1 (T) .....	105
Fotografía. 3.2. Fotografía de las probetas de la mezcla 2 (CP).....	105
Fotografía. 3.3 Fotografía de las probetas de la mezcla 3 (EQFALTO) .....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Especificaciones de MOP - Diseño de Carpeta Asfáltica .....	23
Tabla 1.2. Granulometría del diseño de la Planta Naranjo - López.....	24
Tabla 1.3. Especificaciones de MOP - Diseño de Base Asfáltica .....	27
Tabla 1.4. Porcentaje de Franja para el Diseño de Base Asfáltica de la Planta El Colibrí. 27	
Tabla 1.5. Granulometría del diseño de Base Asfáltica de la Planta El Colibrí.....	28
Tabla 1.6. Especificaciones de MOP - Diseño de Base Asfáltica .....	31
Tabla 1.7. Granulometría del diseño de Base Asfáltica de la Planta EQFALTO.....	31
Tabla. 2.1. Tamaño Mínimo de la muestra.....	35
Tabla. 2.2. Rango de Masas de la muestra .....	41
Tabla. 2.3. Tiempo recomendado para la adecuación de la temperatura.....	54
Tabla. 2.4. Rango de valores del esfuerzo Dinámico .....	55
Tabla. 2.5. Número de ciclos por cada frecuencia.....	56
Tabla. 3.1. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica máxima RICE.....	65
Tabla. 3.2. Tabla de resumen del resultado del contenido de asfalto .....	69
Tabla. 3.3. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica BULK.....	71
Tabla. 3.4. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica máxima RICE.....	80
Tabla. 3.5. Tabla de resumen del resultado del contenido de asfalto .....	84

Tabla. 3.6. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica BULK.....	86
Tabla. 3.7. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica máxima RICE.....	95
Tabla. 3.8. Tabla de resumen del resultado del contenido de asfalto .....	99
Tabla. 3.9. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica BULK.....	101
Tabla. 3.10. Módulos dinámicos para la Muestra 1: PCV.....	102
Tabla. 3.11. Módulos dinámicos para la Muestra 2: HCC .....	103
Tabla. 3.12. Módulos dinámicos para la Muestra 3:EQFALTO .....	104
Tabla. 3.13. Tabla de resumen de los resultados obtenidos .....	121



## **RESUMEN**

Con el avance de la tecnología se han desarrollado nuevos métodos de diseño que simulan de mejor manera el comportamiento de la estructura del pavimento colocado en campo, comparados con los resultados obtenidos en laboratorio. Uno de estos métodos es el Mechanistic – Empirical Pavement Design Guide conocido por sus siglas en inglés M-E PDG desarrollado por el American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). La aplicación de este método se realiza mediante la utilización del software NCHRP, el cual usa varios parámetros para predecir el comportamiento de la estructura del pavimento durante su vida útil.

Uno de los parámetros utilizados en el MEPDG es el módulo dinámico, cuyos valores dependen de la temperatura y condiciones de carga aplicadas al material. La curva maestra representa un espectro de variación del módulo dinámico de una mezcla en particular, permitiendo comparar diferentes mezclas ensayadas bajo condiciones variables.

Con el objetivo de facilitar una futura implementación del método de diseño de pavimentos mecanístico – empírico en nuestro medio, se ha creído conveniente ampliar la base de datos de curvas maestras, iniciada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador en 2010, con mezclas típicas del Distrito Metropolitano de Quito.

## **ABSTRACT**

With the advancement of technology, new design methods have been developed, which better stimulate the behavior of the pavement structure placed in the field, compared to results obtained in the laboratory. One of these methods is Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide (M-E PDG), developed by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). The application of this method is executed by the NCHRP software, which uses various parameters to predict the performance of the pavement structure over its lifetime.

One of the parameters used in the MEPDG is the dynamic modulus, which values depends of the temperature and load conditions applied in the material. The master curve represents the variation spectrum of the dynamic modulus of one particular asphalt mix, allowing to compare different mixes tested under variable conditions.

With the objective of the future implementation of the mechanistic – empiric design method of pavements in our country, it's convenient to extend the master curve data base, developed by the Pontificia Universidad Católica del Ecuador in 2010, with typical mixtures of the Distrito Metropolitano de Quito.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1.ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1.1. Introducción**

En los últimos años se ha podido evidenciar de un gran crecimiento de la red vial nacional, creando y rehabilitando desde caminos vecinales hasta autopistas interprovinciales basándose en las estadísticas de la Comisión de Tránsito del Ecuador. Debido a la importante inversión realizada por el gobierno para aumentar el número de nexos comerciales y así el desarrollo del país en general, siendo otra de las causas el crecimiento del parque automotor dentro de las urbes, por lo que es necesario la utilización de parámetros de diseño más cercanos a la realidad, para optimizar el desempeño de toda la estructura del pavimento, logrando una mayor vida útil y un mayor tiempo entre trabajos de mantenimiento.

Para el diseño de la estructura del pavimento el parámetro más utilizado durante los últimos años ha sido el módulo resiliente debido a su facilidad de aplicación y obtención mediante correlaciones, sin embargo este parámetro analiza un estado de carga específico y se caracteriza por considerar a la estructura como un medio rígido, lo cual no concuerda con la realidad de un pavimento en servicio<sup>1</sup>.

A pesar de la gran facilidad de implementación del módulo resiliente existe otro parámetro que refleja de una manera más acertada la realidad a la cual el pavimento trabaja, llamado módulo dinámico que considera cargas cíclicas a varias temperaturas. El uso de este parámetro en nuestro medio es limitado por la dificultad

---

<sup>1</sup> Alley, Robert. "Properties of asphalt modulus"

que presenta la obtención de la curva maestra ya que no todos los laboratorios en el país poseen el equipo de laboratorio normado, y aquellos que lo poseen no lo realizan frecuentemente por no ser requerido en el medio.

En los últimos años, varios países latinoamericanos han realizado trabajos de investigación en el desarrollo de curvas maestras para sus territorios, como por ejemplo, Colombia en su publicación en la Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, I Semestre 2011, vol. 20, No. 30, y en Argentina en el XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Mar del Plata.

En Ecuador, la Pontificia Universidad Católica del Ecuador realizó en el año 2010 un proyecto de investigación ejecutado por el Ing. José Segovia Nájera titulado: “Construcción de curvas maestras de una fórmula experimental de mezcla asfáltica en caliente utilizando materiales del Distrito Metropolitano de Quito”.

El proyecto antes mencionado de la PUCE dio inicio a la generación de un catálogo de curvas maestras de diferentes mezclas asfálticas, y la presente disertación de grado tiene como uno de los objetivos aportar con la información necesaria para la complementación del catálogo mencionado.

### **1.1.2. Alcance**

La presente disertación culminará con la generación de tres Curvas Maestras, que representan el módulo dinámico de tres diferentes mezclas asfálticas en caliente siendo dos ellas para base asfáltica y la restante de carpeta asfáltica. Estas mezclas son utilizadas en proyectos en ejecución dentro del Distrito Metropolitano de Quito cuya ubicación se encuentra señalada en la Figura 1.7. del presente documento.

### **1.1.3. Objetivos**

#### **1.1.3.1. Objetivo general**

Generar curvas maestras de mezclas asfálticas utilizadas en el Distrito Metropolitano de Quito, para que los diseñadores de la estructura de pavimento tengan un valor de referencia del módulo dinámico, siendo esta una herramienta para el uso adecuado del método de diseño Mecánico – Empírico M-E PDG en nuestro medio.

#### **1.1.3.2. Objetivos específicos**

1. Caracterizar las mezclas asfálticas y verificar el cumplimiento de los parámetros del diseño de las mezclas, mediante los ensayos de Granulometría, Gravedad específica teórica máxima Rice, Gravedad Específica Bulk de la mezcla y Contenido de asfalto mediante el horno de ignición.
2. Compartir la información obtenida a partir de este proyecto de disertación de grado en el catálogo de curvas maestras generado por el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

## **1.2. MÓDULO DINÁMICO**

### **1.2.1. Definición**

La caracterización de mezclas asfálticas en caliente es necesaria para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Existen varias propiedades para identificar el comportamiento que dicho pavimento tendrá en su vida útil, como lo son los conocidos módulos de mezclas asfálticas, entre los cuales se tiene al módulo resiliente y el módulo dinámico.

La presente disertación de grado se centrará en la obtención del módulo dinámico únicamente, ya que este valor refleja un comportamiento más cercano a la realidad

en comparación al módulo resiliente utilizado normalmente en diseño de pavimentos en nuestro país.

Para poder entender al módulo dinámico se analizará su concepto y de las propiedades que lo componen mencionadas a continuación.

El concepto de módulo dinámico según la norma I.N.V E – 754 – 07 (2007): “Es el valor absoluto del módulo complejo que define las propiedades elásticas de un material de viscosidad lineal sometido a una carga sinusoidal  $|E^*|$ ”<sup>2</sup>.

A su vez el módulo complejo tiene la siguiente definición citada de la norma mencionada anteriormente: “Es un número complejo que define la relación entre esfuerzo y deformación para un material visco elástico lineal,  $E^*$ ”<sup>3</sup> siendo estas definiciones una traducción de la norma AASHTO TP – 62 – 03.

Finalmente, la norma AASHTO TP – 62 – 03 (2003) define al ángulo de fase como: “el ángulo en grados entre los picos de las funciones sinusoidales de esfuerzo y deformación en un ensayo controlado de esfuerzos”<sup>4</sup>. Este concepto se puede observar claramente en la Figura 1.2. del presente documento.

Analizando los conceptos antes mencionados se puede decir que el módulo dinámico de un material visco elástico, como lo es la mezcla asfáltica en caliente, se obtiene mediante la relación esfuerzo y deformación unitaria de los picos de la curva de carga continua sinusoidal, refiriéndose a material visco elástico como aquel que posee la propiedad de actuar tanto viscosa como elásticamente, presentándose como viscosa la capacidad de resistir deformación ante la presencia de una carga

---

<sup>2</sup> I.N.V E – 754 – 07. *Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas*. Internet. [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-754-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-754-07.pdf). Acceso (21 de enero de 2014)

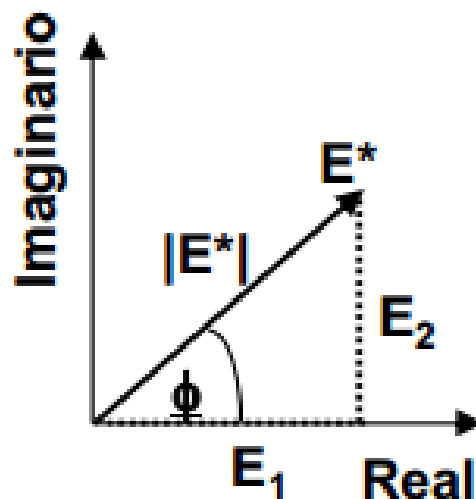
<sup>3</sup> *Ibíd.*

<sup>4</sup> AASHTO TP – 62 – 03. *Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures*. Washington, 2003. Página 2.

transversal, y elástico que presenta una deformación proporcional al esfuerzo aplicado que depende de la rigidez del material.

Complementando el concepto, el módulo dinámico es reconocido como un módulo complejo, ya que el valor obtenido a partir de esta relación es un número complejo, la representación del mismo se la realiza mediante un eje coordenado complejo en el cual los valores reales se colocan en las abscisas y los valores imaginarios en las ordenadas, como se muestra en la siguiente Figura 1.1:

Figura 1.1. Diagrama módulo complejo



Fuente: Módulo dinámico de mezclas asfálticas

(<http://www.seminariorecapados.usm.cl/presentaciones/Gabriel%20Garcia-1.pdf>)

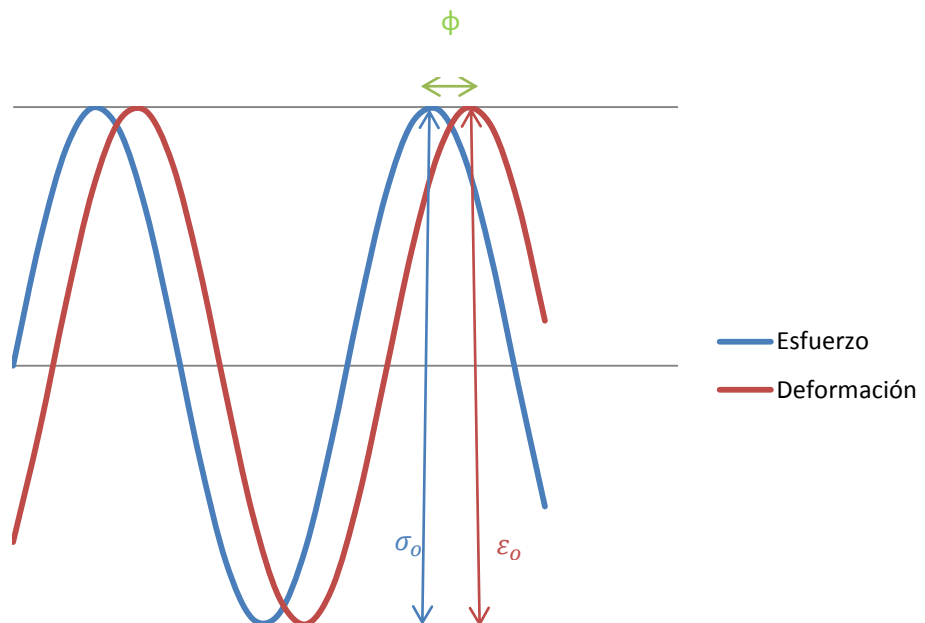
Elaborado por: Ph.D. Gabriel García S.

Otra información que se puede obtener a partir de la Figura 1.1. Diagrama módulo complejo, se refiere al ángulo de fase cuyo valor se encuentra entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ . Si el ángulo de fase es de  $90^\circ$  se trata de un material con comportamiento viscoso y si dicho ángulo es de  $0^\circ$  es un material completamente elástico. Siendo la mezcla

asfáltica en caliente un material viscoelástico el ángulo de fase se encontrará en el rango de los dos valores antes mencionados.

A su vez la denominación de dinámico viene dada por la naturaleza de la carga aplicada a las muestras en el ensayo de laboratorio, la cual es cíclica. En la siguiente Figura 1.2. se muestra la representación de las cargas cíclicas sinusoidales de esfuerzo y deformación con respecto al tiempo.

Figura 1.2. Cargas Cíclicas



Fuente: Nathaly Noboa y Eduardo Vega

Las propiedades que influyen en el valor del módulo dinámico son: temperatura, magnitud, frecuencia de carga y características de la mezcla como el contenido del ligante, la viscosidad, granulometría de los agregados y porcentaje de vacíos.

En la Guía de Diseño Mecánico-Empírico del Pavimento del Manual de Práctica M-E PDG de la AASHTO (2008) menciona tres niveles para determinar el módulo dinámico de una mezcla asfáltica en caliente, los cuales son:



- Nivel 1: el cual toma en cuenta los datos obtenidos de ensayos de laboratorio realizados,
- Nivel 2: son estimaciones obtenidas mediante correlaciones de otras propiedades del material medidas en laboratorio o en campo, y por último,
- Nivel 3: consiste en la utilización de estimaciones realizadas por el diseñador de la propiedad del material basado principalmente en la experiencia con o sin datos de ensayos de laboratorio.

En el Nivel 3 antes descrito para la obtención del valor del módulo dinámico se puede hacer uso de la ecuación de Witczak, la misma que está en función de la granulometría de los agregados, propiedades volumétricas, frecuencia o tiempo de carga y la viscosidad del cemento asfáltico.

Para este trabajo se utilizaron los datos obtenidos en el laboratorio mediante los ensayos para la determinación del módulo dinámico y posteriormente la generación de la curva maestra, lo que corresponde al Nivel 1 considerado en el M-E PDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide).

### 1.2.2. Expresiones Matemáticas

La expresión matemática que sirve para encontrar el valor del módulo complejo viene dada por la relación:

$$E^* = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_0 e^{i\omega t}}{\varepsilon_0 e^{i(\omega t - \Phi)}} = \frac{\sigma_0 \sin \omega t}{\varepsilon_0 \sin(\omega t - \Phi)} \quad \text{Ecuación 1.1}^5$$

Donde:

$$\sigma_0 = \text{Esfuerzo máximo}$$

---

<sup>5</sup> Li & Williams, "A Practical Dynamic Modulus Testing Protocol". Journal of Testing and Evaluation, Vol. 40, No. 1. 2012

$\varepsilon_o$  = Deformación unitaria máxima

$\Phi$  = Ángulo de fase

$t$  = Tiempo

$w$  = Velocidad Angular, su fórmula es:

$$w = 2\pi f$$

$f$  = Frecuencia

### 1.2.3. Usos

En la Guía de Diseño Mecánico-Empírico de Pavimento (M-E PGD) propuesto por la AASHTO, se presenta un Manual de Práctica para el diseño óptimo de la estructura del pavimento, cuyo objetivo primordial es proveer a los profesionales de Ingeniería Civil una herramienta práctica para el diseño y análisis de estructuras de pavimento nuevo o rehabilitado basado en los principios Mecánicos-Empíricos.

Estos principios se deben en primer lugar por la mecánica de los materiales, siendo necesario calcular esfuerzos y deformaciones producidas por las cargas de tráfico (parte Mecánica). Mientras que en un segundo plano se realizan estimaciones estadísticas para obtener la deformación permanente o fractura por fatiga correspondientes a daños acumulativos (parte Empírica). La combinación de los dos métodos antes mencionados nos da como resultado este método de diseño.

El procedimiento de M-E PDG ayuda a predecir el comportamiento del pavimento mediante esfuerzos, deformaciones y deflexiones a los que está sometido el mismo a lo largo de su vida útil. Por lo cual, se puede registrar los daños acumulados en dicho periodo de tiempo.

El Manual de Práctica de la AASHTO descrito en el M-E PDG, se sintetiza en el uso de un software de aplicación llamado NCHRP 2007 o Método de Diseño 2002, el cual sirve para análisis y diseño de estructuras de pavimento. Uno de los parámetros que es necesario para la ejecución del programa es el módulo dinámico, el mismo que es el tema de análisis de este proyecto de Disertación de grado.

El M-E PDG utiliza los parámetros de la curva maestra del módulo dinámico para el diseño de la estructura del pavimento, considerando de esta manera la variación de temperatura y carga que se puede producir, dando como resultado una mejor predicción del envejecimiento de la mezcla asfáltica y demás fallas que se generan a lo largo de la vida útil, debido a que el software utilizado realiza una simulación diaria de los efectos producidos y los registra para poder contemplar si la estructura cumplirá con su objetivo al final del tiempo de análisis.

### **1.3.DESCRIPCIÓN DE LA GENERACIÓN DE LA CURVA MAESTRA**

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos en el laboratorio se procede a la construcción de la curva maestra de la mezcla, que servirá para caracterizarlo de manera completa. Esta curva tiene como objetivo encontrar los valores de rigidez que dependen de la temperatura y de la frecuencia de carga.

El principio en el que se basa la creación de la misma es el Principio de superposición tiempo-temperatura, el cual asume que existe un valor equivalente de

módulo para ciertas combinaciones de frecuencia-temperatura<sup>6</sup>. Con lo cual se logra integrar el conjunto de curvas para cada frecuencia en una sola función.

Existen varias funciones para representar la curva maestra, que se dividen en dos grupos, polinomial y sigmoideal. En el grupo de funciones polinomiales se encuentran:

- WLF (la ecuación empírica de William Landel and Ferry):

$$\log a(T) = \frac{-C_1(T-T_0)}{C_2+T-T_0} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

$a(T)$  = Factor de corrección horizontal para  $T > T_g$

$T$  = Temperatura, °C

$T_0$  = Temperatura referencial, °C y

$C_1$  y  $C_2$  = Constantes empíricas

- Arrhenius:

$$\log a(T) = \frac{\Delta E_a}{2.303R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

$a(T)$  = Factor de corrección horizontal para  $T < T_g$

$\Delta E_a$  = Energía aparente activada

$R$  = Constante universal de gas = 8.314 J/°K-mol

$T$  = Temperatura, °K

$T_0$  = Temperatura referencial, °K

---

<sup>6</sup> Pellinen, Witczak, Bonaquist. *Asphalt Mix Master Curve Construction Using Sigmoidal Fitting Function With Non-Linear Least Squares Optimization*. New York: ASCE.

- Log-linear:

$$\log a \left( \frac{T}{T_0} \right) = \beta (T - T_0) \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

$\beta$  = la pendiente de la relación entre  $\log a(T)$  y temperatura

- VTS (Viscosity Temperature Susceptibility):

$$\log(\log \eta) = A + VTS[\log(T_R)] \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Donde:

$\eta$  = Viscosidad, coeficiente de Poise

$T_R$  = Temperatura, °Rankine

$A$  = Intercepción de regresión y,

$VTS$  = Pendiente de regresión de la ecuación de Viscosity Temperature Susceptibility.

Las ecuaciones descritas anteriormente fueron obtenidas del trabajo realizado por los autores Pellinen, Witczak y Bonaquist titulado “Asphalt Mix Master Curve Construction Using Sigmoidal Fitting Function With Non-Linear Least Squares Optimization”.

Sin embargo, estos tipos de funciones no realizan el ajuste adecuado debido a que en bajas o altas temperaturas presenta valores irracionales de módulo cuando se extrapola fuera del rango de los datos<sup>7</sup>. Para evitar el inconveniente de la función polinomial se acostumbra usar la función sigmoideal, la misma que presenta un mejor

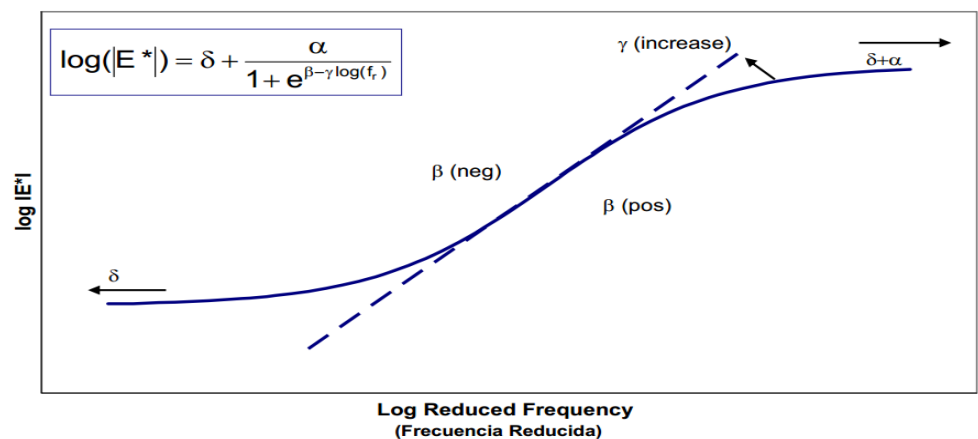
---

<sup>7</sup> Pellinen, Witczak, Bonaquist. *Asphalt Mix Master Curve Construction Using Sigmoidal Fitting Function With Non-Linear Least Squares Optimization*. New York: ASCE.

acomodo debido a su aproximación asintótica a los límites de los valores de módulo dinámico.

La gráfica de la curva maestra presenta como ordenadas al  $\log E^*$  (Logaritmo en base 10 del módulo dinámico), y en las abscisas al  $\log \xi$  (Logaritmo en base 10 de la frecuencia reducida, siendo esta la frecuencia de ensayo multiplicada por el Shift Factor  $a(T)$ , en Hz). La siguiente Figura 1.3. representa un modelo de los componentes de dicha curva.

Figura 1.3. Representación gráfica de la Función Sigmoidal



Fuente: Módulo dinámico de mezclas asfálticas

(<http://www.seminariorecapados.usm.cl/presentaciones/Gabriel%20Garcia-1.pdf>)

Elaborado por: Ph.D. Gabriel García S.

Para la obtención de los valores necesarios para la construcción de la curva se utilizan las siguientes ecuaciones:

a)

$$\log(|E^*|) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta - \gamma(\log \xi)}} \quad \text{Ecuación 1.6}^8$$

Donde:

<sup>8</sup> Pellinen, Witczak, Bonaquist. *Asphalt Mix Master Curve Construction Using Sigmoidal Fitting Function With Non-Linear Least Squares Optimization*. New York: ASCE.

$|E^*|$  = Módulo dinámico

$\xi$  = Frecuencia reducida

$\delta$  = Valor mínimo del módulo

$\alpha$  = Rango de valores del módulo

$\beta, \gamma$  = Parámetros de forma

El parámetro  $\gamma$  tiene influencia en la forma escarpada de la función; es decir, que mide la relación de variación entre los valores mínimo y máximo.

El parámetro  $\beta$  representa la posición horizontal del punto de inflexión de la curva.

b)

$$\log \xi = \log(f) + \log[a(T)] \quad \text{Ecuación 1.7}^9$$

Donde:

$f$  = Frecuencia a la que se realiza el ensayo

$[a(T)]$  = Factor de corrección (Shift Factor)

Las frecuencias y temperaturas que se utilizarán en el desarrollo del ensayo se encuentran prescritas en la norma y se describirán posteriormente en el Capítulo II en el apartado del ensayo de módulo dinámico (AASHTO TP – 62 – 03).

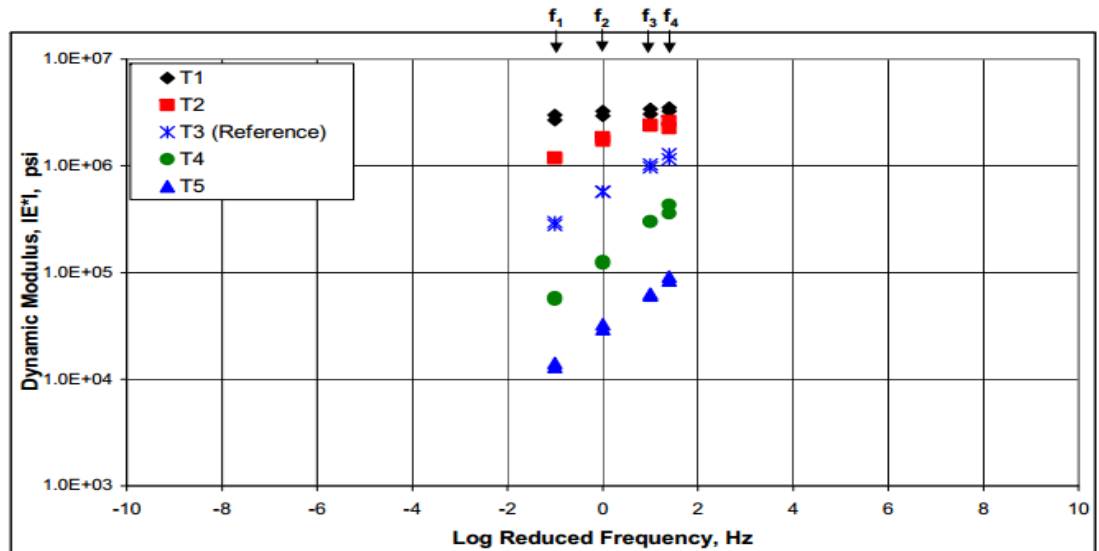
Es importante tener en cuenta que se puede realizar la conversión al dominio de la frecuencia o de la temperatura. Para este proyecto se realizará en función a la temperatura, con respecto a una temperatura base de 21°C. Este ajuste es empleado para realizar los desplazamientos pertinentes de los valores obtenidos como resultado de los ensayos de laboratorio, conformando así la curva maestra con la forma típica de la misma. En la Figura 1.4. y Figura 1.5., se muestra la transformación de la

---

<sup>9</sup> Pellinen, Witczak, Bonaquist. *Asphalt Mix Master Curve Construction Using Sigmoidal Fitting Function With Non-Linear Least Squares Optimization*. New York: ASCE.

curva mediante el desplazamiento de los puntos para la conformación de la curva maestra.

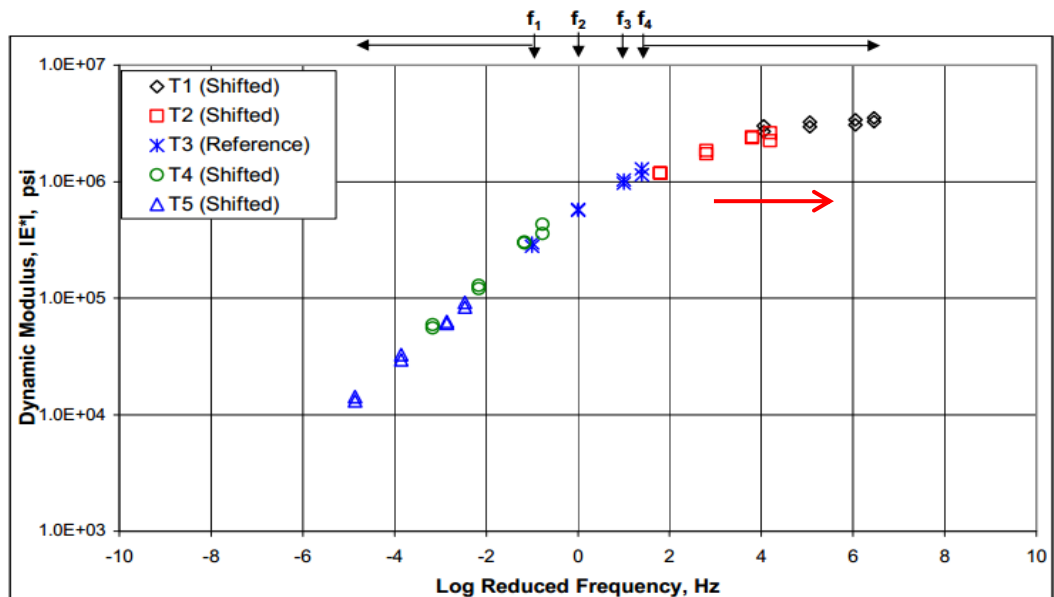
Figura 1.4. Ordenadas del módulo dinámico originales



Fuente: Módulo dinámico de mezclas asfálticas  
(<http://www.seminariorecapados.usm.cl/presentaciones/Gabriel%20Garcia-1.pdf>)

Elaborado por: Ph.D. Gabriel García S.

Figura 1.5. Ordenadas del módulo dinámico aplicado el shift factor



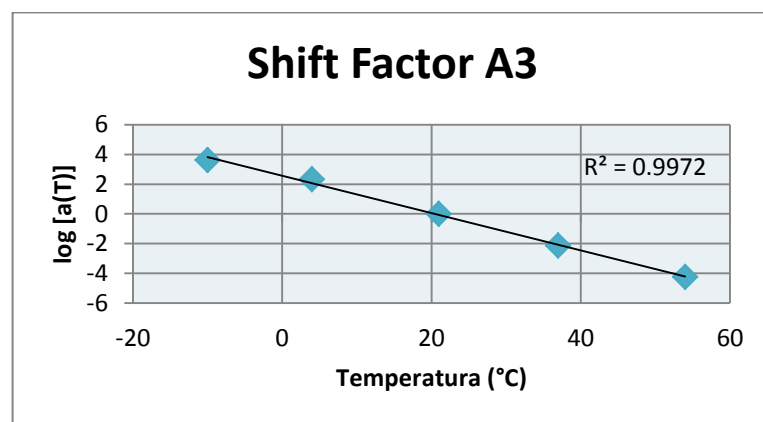
Fuente: Módulo dinámico de mezclas asfálticas  
(<http://www.seminariorecapados.usm.cl/presentaciones/Gabriel%20Garcia-1.pdf>)

Elaborado por: Ph.D. Gabriel García S.



Para obtener el factor de corrección se deberá partir del principio que este valor será de 1 para la temperatura de referencia, con lo cual se generará un gráfico cuyas ordenadas serán el  $\log[a(T)]$ , y abscisas  $T(^{\circ}\text{C})$  y sus valores serán los prescritos para el ensayo, como se muestra a continuación en la Figura 1.6.

Figura 1.6. Gráfico shift factor versus temperatura



Elaborado por: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Se utilizará el mecanismo de iteración para encontrar los valores óptimos de factores de corrección y de esta manera generar la curva maestra con el mejor ajuste, es decir con el menor error presente entre la función y los valores corregidos de laboratorio.

Para obtener el valor de las variables presentes en las ecuaciones 1.6 y 1.7 ( $\delta, \alpha, \gamma, \beta$ ) se deberá encontrar una solución simultánea para todos ellos en conjunto con los factores de corrección  $a(T)$ . Esto se logra mediante iteraciones con la ayuda de la función SOLVER de la hoja de cálculo Excel, obteniendo el valor mínimo de los errores al cuadrado. Teniendo así la curva de mejor ajuste.

## **1.4.DESCRIPCIÓN DE LAS MEZCLAS A UTILIZAR**

Para la ampliación del catálogo de curvas maestras de mezclas asfálticas en caliente se definió trabajar con tres diseños utilizados en proyectos dentro de los cantones Quito y Rumiñahui, las cuales fueron proporcionadas por tres diferentes plantas, que trabajan continuamente. A continuación, en la Figura 1.7. Implantación general, se mostrará la ubicación geográfica tanto de las minas como de los proyectos de los cuales se obtuvo las muestras de mezclas asfálticas en caliente.

Cada color y flecha dentro de la figura representará la ubicación, tanto de la planta de producción como del proyecto de pavimentación. Denotado de la siguiente manera:

- Rojo: Calle Cusubamba.
- Anaranjado: Planta Naranjo – López.
- Verde: Vía Pifo – Colibrí.
- Celeste: Planta El Colibrí.
- Café: Calle Cristóbal Colón en la parroquia de Amaguaña.
- Morado: Planta de EQFALTO.

Figura 1.7. Implantación General



Fuente: Google Maps

Elaborado por: Nathaly Noboa y Eduardo Vega

El muestreo se lo realizó en campo colocando una placa metálica en la parte frontal del equipo Finisher, tomando las muestras a partir de la tercera volqueta de producción de la planta para evitar problemas de segregación.

Las muestras fueron trasladadas al laboratorio en bandejas metálicas cubiertas con papel aluminio para evitar la inserción de agentes contaminantes.

Los ensayos que se realizaron a las muestras tomadas en campo fueron los siguientes:

- Contenido de asfalto mediante el horno de ignición
- Granulometría de los agregados
- Gravedad específica máxima teórica RICE
- Gravedad específica de la mezcla compactada BULK
- Módulo dinámico

Los mismos que se encuentran descritos en el Capítulo II del presente documento.

#### **1.4.1.MEZCLA 1: Calle Cusubamba / Contratista PCV / Planta Naranjo-López**

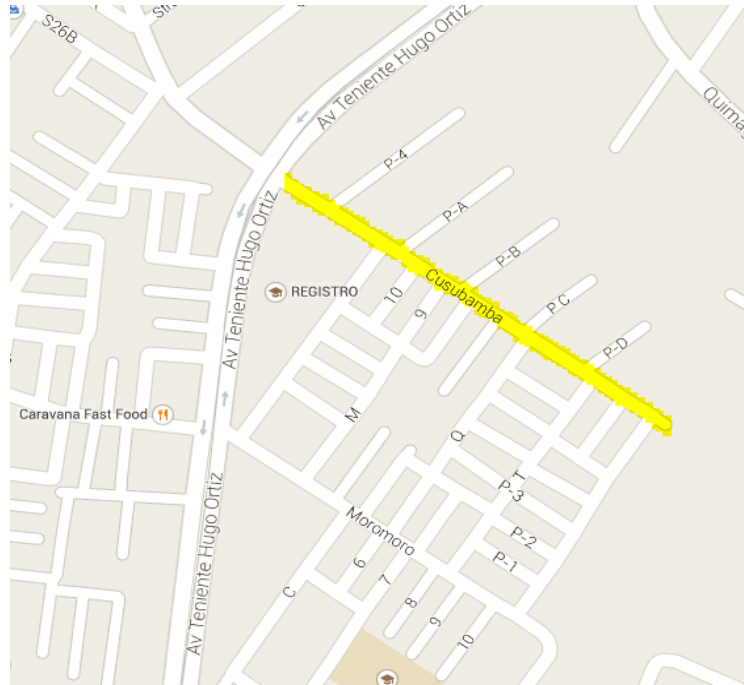
La muestra fue tomada en campo en la calle Cusubamba en el sector de Turubamba, en donde se realizó la pavimentación del tramo señalado en la calle por la Contratista PCV Pavimentos y Construcciones Viales Cia. Ltda. La misma que utilizó la mezcla asfáltica fabricada por la planta Naranjo – López, la cual trabaja con agregados triturados provenientes de la Mina Piedra Dorada ubicada en la parroquia de Sangolquí.

Constan de tres tipos de agregados llamados: grueso, mediano y fino.

El asfalto utilizado en la mezcla es el producido por la Refinería Estatal de Esmeraldas (Petroproducción) AC – 20.

El contenido de cemento asfalto óptimo para este diseño es de 6.2%.

Figura 1.8. Ubicación Calle Cusumbamba



Localización del tramo en el que se realizan los trabajos de pavimentación

La muestra fue tomada en la abscisa 0+112.05 y a 2.00 metros desde la acera derecha en sentido este – oeste. Para lo cual se utilizó una placa metálica que sirvió de ayuda para recoger la muestra.

Fotografía 1.1. Ubicación de la placa frente a la Finisher previa la obtención de la mezcla



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Fotografía 1.2. Obtención de la muestra con la ayuda de la placa



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Se comprobó la temperatura de colocación de la carpeta asfáltica la misma que fue 140 °C, la cual se encuentra dentro del rango especificado entre 120 y 150 °C.

Para que las muestras no tengan ningún agente contaminante en el traslado del campo hacia el laboratorio, se decidió cubrirlas con papel aluminio selladas con cinta adhesiva. Identificándolas debidamente.

Fotografía 1.3. Bandejas cubiertas con papel aluminio y selladas a la llegada del laboratorio



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

A continuación se presentan los datos relevantes del diseño utilizado para esta mezcla asfáltica, el documento completo presentado por la Planta Naranjo – López se encuentra en el Anexo 1.

Tamaño máximo nominal del agregado:  $\frac{3}{4}$ ".

Franjas granulométricas de la mezcla de diseño de las Especificaciones Generales para construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 para Carpeta Asfáltica producida en planta:

Tabla 1.1. Especificaciones de MOP - Diseño de Carpeta Asfáltica

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1"	100
$\frac{3}{4}$ "	90 - 100
$\frac{3}{8}$ "	56 - 80
No 4	35 - 65
No 8	23 - 49
No 50	5 - 19
No 200	2 - 8

Fuente: Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes MOP 001-F-2002.(Tabla 405-5.1)

Para que la mezcla del diseño entre dentro de las franjas especificadas se decidió realizar la siguiente dosificación de agregados: 30% de agregado grueso, 15% medio y 55% de arena. Dando el siguiente resultado:

Tabla 1.2. Granulometría del diseño de la Planta Naranjo - López

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1"	100.00
3/4"	95.80
1/2"	82.10
3/8"	73.80
Nº4	52.70
Nº8	39.60
Nº50	14.00
Nº200	7.20

Fuente: Diseño de la Planta Asfáltica Naranjo - López

Para una mezcla asfáltica de un 6.0% de contenido de asfalto se tiene:

Gravedad específica máxima teórica RICE: 2.366

Gravedad específica BULK: 2.264

#### **1.4.2. MEZCLA 2: Pavimentación Pifo – Colibrí/ Contratista HCC/ Planta El Colibrí**

La muestra fue tomada en campo en la vía Pifo - Colibrí en la abscisa 18+830 en sentido Oeste - Este, en donde se encuentra la colocación de base asfáltica del tramo señalado en la vía por la Contratista Herdoiza Crespo Constructores S.A. La misma que utilizó la mezcla asfáltica producida por la planta El Colibrí, la cual trabaja con agregados triturados provenientes de la Mina El Colibrí ubicada en el barrio Cashapamba, cantón Rumiñahui.



Figura 1.9. Ubicación Vía Pifo / Colibrí



Localización del tramo en el que se realizan los trabajos de pavimentación el día del muestro

La mezcla de agregados consta de tres fracciones, las cuales unidas dan como resultado la granulometría para la base tipo B.

El asfalto utilizado en la mezcla es el producido por la Refinería Estatal de Esmeraldas (Petroproducción) AC – 20.

El contenido de cemento asfalto óptimo para este diseño es de 5.2%.

La muestra fue tomada en la abscisa 18+830 y a 4.35 metros desde la acera derecha en sentido este – oeste. Para lo cual se utilizó una placa metálica que sirvió de ayuda para recoger la muestra.

Es recomendable tomar las muestras a partir de la tercera volqueta de producción, para reducir los efectos del arranque de planta en las propiedades de la mezcla, evitando de esta manera posibles problemas de segregación.

Fotografía 1.4. Ubicación de la placa delante de la Finisher previa a la obtención de la mezcla



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Se comprobó la temperatura de colocación de la base asfáltica, la misma que fue 145 °C, la cual se encuentra dentro del rango especificado por el informe de diseño entre 135 y 145°C.

Para que las muestras no tengan ningún agente contaminante en el traslado del campo hacia el laboratorio, se decidió cubrirlas con papel aluminio selladas con cinta adhesiva. Identificándolas debidamente.

A continuación se presentan los datos relevantes del diseño utilizado para esta mezcla asfáltica, el documento completo presentado por la Planta El Colibrí se encuentra en el Anexo 2.

Tamaño máximo nominal del agregado: 1”.

Franjas granulométricas de la mezcla de diseño de las Especificaciones Generales para construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 para Base Asfáltica producida en

Planta tipo B:

Tabla 1.3. Especificaciones de MOP - Diseño de Base Asfáltica

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1 1/2"	100
1"	90 - 100
1/2"	56 - 80
No 4	29 - 50
No 8	19 - 45
No 50	5 - 17
No 200	1 - 7

Fuente: Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes MOP 001-F-2002.(Tabla 404-5.1)

Para que la mezcla del diseño entre dentro de las franjas especificadas se decidió realizar la siguiente dosificación de las franjas de agregados:

Tabla 1.4. Porcentaje de Franja para el Diseño de Base Asfáltica de la Planta El Colibrí

Fracción	Tamaño	Porcentaje
1	Pasante de 1 1/2" retenido 3/4"	20
2	Pasante de 3/4" retenido 3/8"	20
3	Pasante 3/8"	60

Fuente: Diseño de la Planta Asfáltica El Colibrí

Tabla 1.5. Granulometría del diseño de Base Asfáltica de la Planta El Colibrí

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1 1/2"	100.00
1"	97.00
3/4"	90.80
1/2"	73.80
3/8"	64.20
Nº4	52.60
Nº8	39.60
Nº50	15.00
Nº200	6.00
PASA Nº200	0.00

Fuente: Diseño de la Planta Asfáltica El Colibrí

Para una mezcla asfáltica de un 5.2% de contenido de ligante asfáltico se tiene:

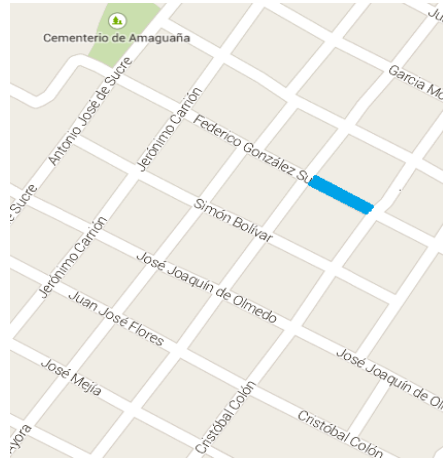
Gravedad específica máxima teórica RICE: 2.478

Gravedad específica BULK: 2.325

#### 1.4.3.MEZCLA 3: Amaguaña/ Contratista EQFALTO/ Planta Llano Chico

La muestra fue tomada en campo en la calle Cristóbal Colón y Federico González Suárez en la parroquia de Amaguaña, en donde se encuentra la pavimentación del tramo señalado en la calle por la Contratista EQFALTO Constructora Cia. Ltda. La misma que utilizó la base asfáltica fabricada por la planta de EQFALTO ubicada en las cercanías de Llano Chico, la cual trabaja con agregados triturados provenientes de dos minas, para agregado grueso la Mina de Holcim, ubicada en la parroquia de Pifo, y para arena la cantera San Joaquín.

Figura 1.10.Ubicación Vía Pifo / Colibrí



Localización del tramo en el que se realizan los trabajos de pavimentación

El asfalto utilizado en la mezcla es el producido por la Refinería Estatal de Esmeraldas (Petroproducción) AC – 20.

El contenido de cemento asfalto usado para este diseño es de 6.20%.

La muestra fue tomada a 18.0 metros de la intersección de las calles en sentido oeste - este y a 2.00 metros desde la acera derecha en sentido este – oeste. Para lo cual se utilizó una placa metálica que sirvió de ayuda para recoger la muestra.

Fotografía 1.5. Ubicación de la placa delante de la Finisher previa a la obtención de la mezcla



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Fotografía 1.6. Extracción de la muestra en campo



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Se comprobó la temperatura de colocación de la carpeta asfáltica, la misma que fue 145 °C, la cual se encuentra dentro del rango especificado por el informe de diseño entre 120 y 150 °C.

Para que las muestras no tengan ningún agente contaminante en el traslado del campo hacia el laboratorio, se decidió cubrirlas con papel aluminio selladas con cinta adhesiva. Identificándolas debidamente.

A continuación se presentan los datos relevantes del diseño utilizado para esta mezcla asfáltica, el documento completo presentado por la Planta EQFALTO ubicado en las cercanías de Llano Chico se encuentra en el Anexo 3.

Tamaño máximo nominal del agregado: 1”.

Franjas granulométricas de la mezcla de diseño de las Especificaciones Generales para construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 para diseño de Base Asfáltica producida en planta Tipo C:

Tabla 1.6. Especificaciones de MOP - Diseño de Base Asfáltica

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1"	100
3/4"	90 - 100
3/8"	56 - 80
No 4	35 - 65
No 8	23 - 49
No 50	5 - 19
No 200	2 - 8

Fuente: Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puentes MOP 001-F-2002.(Tabla 404-5.1)

Para que la mezcla del diseño entre dentro de las franjas especificadas se decidió realizar la siguiente dosificación de agregados: de la mina de Holcim el 45% y de la cantera San Joaquín el 55%. Dando como resultado la siguiente granulometría:

Tabla 1.7. Granulometría del diseño de Base Asfáltica de la Planta EQFALTO

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1"	100.00
3/4"	96.00
1/2"	78.00
3/8"	65.00
Nº4	51.00
Nº8	45.00
Nº50	18.00
Nº200	5.00

Fuente: Diseño de la Planta Asfáltica EQFALTO

Para una mezcla asfáltica de un 6.2% de contenido de asfalto se tiene:

Gravedad específica máxima teórica RICE: 2.260

Gravedad específica BULK: 2.166

## CAPÍTULO II

### ENSAYOS DE LABORATORIO

#### 2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA

A continuación se detallará el procedimiento de cada uno de los ensayos a efectuar en las muestras de las mezclas asfálticas descritas en el Capítulo I.

##### 2.1.1. *Rice*

###### a. Norma de referencia

ASTM D2041/D2041M – 11: Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures.

###### b. Alcance

Este ensayo cubre la determinación de la máxima gravedad específica teórica y densidad de mezclas de pavimento bituminoso no compactado a 25°C.

###### c. Significado y uso

La máxima gravedad específica teórica y la densidad de mezclas de pavimento bituminoso son propiedades fundamentales, que dependen de la composición de la mezcla con respecto a la cantidad de agregados y ligante asfáltico.



Estos valores son usados para el cálculo del contenido de vacíos en mezclas compactadas, en el cálculo de la cantidad de bitumen absorbido por el agregado y para proporcionar los valores objetivos para la compactación de mezclas asfálticas.

d. Equipos necesarios

✓ Contenedores:

1. Recipiente de vacío: puede ser de metal o plástico con un diámetro entre 180 y 260 mm con una altura mínima de 160 mm. Vendrá equipado con una tapa transparente con una junta de caucho que permita la conexión con la línea de vacío. Serán lo suficientemente resistente para soportar la presión aplicada.
2. Matraz de vacío para el peso en aire solamente.

- ✓ Bomba de vacío: capaz de evacuar el contenido de aire del contenedor con una presión residual de 30 mm de Hg o menos.
- ✓ Manómetro de presión residual: se usa para confirmar la presión aplicada al contenedor, y debe ser capaz de medir la presión residual de 30 mm de Hg o menos.
- ✓ Manómetro: capaz de medir la presión que se aplica en la fuente del vacío.
- ✓ Termómetros: deben tener una precisión de 0.5°C.
- ✓ Baño maría: capaz de mantener a temperatura constante de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Fotografía. 2.1. Muestra sumergida en Baño María



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

- ✓ Válvula de purga: adjuntado a la línea de vacío, que sirve para controlar la presión aplicada y la liberación de la presión.
- ✓ Máquina agitadora mecánica: capaz de aplicar una agitación suave pero consistente a la muestra.

Fotografía. 2.2. Sistema de máquina agitadora y recipiente de vacío.



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

- ✓ Horno: capaz de mantener una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

e. Preparación de las muestras

El tamaño se muestra en la siguiente tabla 2.1.:

Tabla. 2.1. Tamaño Mínimo de la muestra

<b>Máximo Tamaño Nominal del Agregado mm (in)</b>	<b>Masa mínima g.</b>
37.5 (1 1/2) o mayor	5000
19 a 25 (3/4 a 1)	2500
12.5 (1/2) o menor	1500

Fuente: Norma ASTM D 2041/D2041M-11

Cuando la muestra supere los dos tercios del volumen del contenedor se deberá ensayar en porciones separadas con una masa mínima de 1250 g.

f. Procedimiento de ensayo

1. Se debe calibrar el contenedor: si se usa para el peso en el aire, se coloca el contenedor y la tapa bajo el agua a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Se coloca la tapa en su lugar y se seca la superficie del recipiente. Se determina la masa combinada del recipiente, de la tapa y del agua. Se repite el procedimiento tres veces y el promedio de los resultados se le asigna el valor de **D**.
2. Se deberá secar la muestra a una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , a menos que la mezcla fuese preparada en laboratorio usando agregados secos.
3. Cuando la muestra se encuentre todavía tibia, se disgrega la muestra con la mano, teniendo cuidado de no fracturar a los agregados, hasta que la parte de agregado fino no supere el tamaño de 6 mm. Enfriar la muestra a temperatura ambiente. Si se adhieren partículas entre ellas, se debe separarlas de manera delicada hasta que la porción del agregado fino no supere el tamaño de 6 mm.

Colocar la muestra en el contenedor y pesarla. La masa neta de la mezcla se le designa el valor de **A**.

4. Se añade suficiente agua, a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , hasta cubrir la muestra completamente.
5. Colocar el contenedor con la muestra y el agua en el agitador mecánico y asegurarla firmemente. Comenzar la agitación e inmediatamente comenzar la remoción de aire de la muestra, hasta estabilizar la presión en el nanómetro de  $27.5 \pm 2.5$  mm de Hg. El tiempo de agitación será de  $15 \pm 2$  min, siendo 7.5 min en un sentido y 7.5 min en el otro sentido.
6. Liberar la presión gradualmente usando la válvula de purga. Sacar el contenedor del agitador con cuidado.
7. *Peso en el aire con el contenedor:* se sumerge lentamente el contenedor y la muestra en el baño maría, añadiendo a su vez agua dentro del contenedor sin permitir el ingreso de burbujas de aire en el procedimiento, a una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , donde reposará un periodo de  $10 \pm 1$  min. La tapa también será colocada en el baño maría el mismo periodo de tiempo.
8. Se desliza la tapa sobre el contenedor presionando firmemente hasta retirar toda el agua excedente del contenedor. Se retira cuidadosamente del baño maría y secar completamente el exterior del recipiente y la tapa. Determinar la masa del recipiente, de la muestra y la tapa, se designa este valor como **E**.

Fotografía. 2.3. Contenedor con la muestra y agua sobre la balanza.



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

9. *Proceso Suplementario:* este procedimiento es desarrollado si los poros del agregado no fueron completamente sellados con el bitumen asfáltico, por lo que el agregado se llega a saturar con agua. En este proceso es necesario secar la muestra mediante lo indicado a continuación:
- ✓ Retirar el agua del contendor, con el cuidado necesario para no perder las partículas finas.
  - ✓ Romper una pieza grande de agregado, para determinar si esta corrección es necesaria, por lo cual se necesita observar si el agregado ha adsorbido agua.
  - ✓ Si la muestra adsorbió agua, se debe colocar la muestra en una bandeja, con una superficie no absorbente, al frente de un ventilador cuidando que las partículas de la mezcla no se pierdan. Este procedimiento dura aproximadamente 2 horas.

Fotografía. 2.4. Muestra secándose mediante el uso del ventilador.



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

- ✓ Pesar la muestra en intervalos de 15 minutos. Cuando la pérdida de masa sea menor que el 0.05% para un intervalo, se considera que la muestra tiene una superficie seca. Este valor será sustituido por el valor de **A**.

g. Cálculos

Determinación con el Recipiente en el Aire

$$G_{mm} = \frac{A}{A+D-E} \quad \text{Ecuación 2.1.}$$

Donde:

- $G_{mm}$  Gravedad específica máxima de la mezcla
- A Masa seca de la mezcla en el aire, g.
- D Masa del recipiente y la tapa con agua a 25°C, g.
- E Masa del recipiente, tapa, muestra y agua a 25°C, g.

### ***2.1.2. Contenido de asfalto mediante el uso del horno de ignición***

#### **a. Norma de referencia:**

AASHTO T 308: Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Method.

#### **b. Alcance**

Este método cubre la determinación del contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente mediante ignición a temperaturas que alcanzan el punto de inflamación. Los medios para calentar la muestra pueden ser por el método de convección o el método de irradiación infrarroja directa (IR).

#### **c. Significado y uso**

Este ensayo puede ser usado para determinaciones cuantitativas del contenido de asfalto y gradación en mezclas asfálticas en calientes para control de calidad, aceptación de especificaciones y estudios de evaluación de la muestra.

#### **d. Equipos necesarios**

- ✓ Horno de ignición: es un horno de aire forzado que calienta la muestra mediante cualquier método antes mencionado. Debe ser capaz de mantener la temperatura a 578 °C. Las dimensiones de la cámara del horno deben ser adecuadas para colocar un espécimen de 3500gr. El horno debe tener integrado una balanza aislada térmicamente de la cámara con una precisión de 0.1gr.

Fotografía. 2.5. Fotografía del horno de ignición.



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

- ✓ El conjunto de la canastilla: consiste en la canastilla para el espécimen, una bandeja y un sistema de acoplamiento. Debe poseer el tamaño apropiado para dejar circular el aire adecuadamente y repartir uniformemente la muestra en toda la bandeja. Se puede incorporar dos o más canastillas al sistema.

Fotografía. 2.6. Fotografía del conjunto de la canastilla.



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

- ✓ Bandeja: debe poseer el tamaño suficiente para sostener a las canastillas y asegurar que todo el material fino y el asfalto diluido se deposite en ella.
- ✓ Balanza
- ✓ Equipo de seguridad: gafas, guantes, mascarilla, canastilla de protección.



Fotografía. 2.7. Fotografía de Canastilla de Seguridad



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

e. Preparación de las muestras

Para preparar la muestra se debe disgregar la misma lo suficiente para poder acomodarla adecuadamente dentro de la bandeja.

El tamaño de la muestra se determinó a partir del tamaño máximo nominal del agregado de la mezcla de diseño, teniendo así la siguiente tabla 2.2. :

Tabla. 2.2. Rango de Masas de la muestra

Tamaño Máximo Nominal	Clase		Mínima masa del espécimen gr	Máxima masa del espécimen gr
	HMA	Otro		
No.4			1200	1700
3/8"	3/8"		1200	1700
1/2"	1/2"	ATB	1500	2000
3/4"	3/4"		2000	2500
1"	1"		3000	3500
1 1/2"			4000	4500

Fuente: Norma AASHTO T 308

f. Procedimiento de ensayo

1. Precalentar el horno de ignición a 538 °C, registrar manualmente la temperatura antes del ensayo, si es que el equipo no lo hace automáticamente.  
*Nota:* Por limitaciones en el equipo el horno que se utilizó solo se pudo calentar a 430 °C.
2. Colocar el factor de calibración para la mezcla en específico que se va a utilizar.
3. Pesar y registrar la masa de la canastilla y la bandeja con una apreciación de 0.1gr.
4. Distribuir uniformemente la muestra en el número de canastilla disponible, previa su colocación encima de la bandeja, teniendo cuidado de alejar el material de los bordes de la canastilla. Usar una espátula para nivelar la muestra.
5. Determinar y registrar la masa del conjunto canastilla, bandeja y muestra con una apreciación de 0.1gr. Calcular y registrar la masa inicial de la muestra.
6. Una vez encendida la balanza del horno, colocar la muestra dentro del horno de ignición precalentado, e ingresar la masa inicial del espécimen en el controlador del mismo. Verificar que la masa medida fuera y dentro del horno no tengan una diferencia mayor a 5 gr. Si la diferencia es mayor a 5gr puede encontrarse en contacto con la pared del horno o contiene un contaminante externo.
7. Iniciar el ensayo presionando el botón de START.
8. Esperar a que termine el ensayo hasta que el indicador auditivo y luminoso indique que ha finalizado el proceso (el cambio en la masa no varía en 0.1% para tres mediciones continuas), obteniendo de esta manera los resultados impresos.
9. Presionar el botón END, para poder abrir la puerta y extraer la muestra.

10. Colocar la muestra en una superficie resistente al calor, colocar la canastilla de protección encima del espécimen y dejar que se enfríe a temperatura ambiente (aproximadamente 30 minutos).

g. Cálculos

Los cálculos necesarios para este ensayo los realiza el horno de ignición. Y las diferencias entre las masas son colocadas en la hoja del informe del ensayo presentados en el capítulo III del presente documento.

**2.1.3. Gravedad Específica Bulk**

a. Norma de referencia

ASTM D2726 – 11: Standard Test Method For Bulk Specific Gravity and Density Of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures

b. Alcance

Este método cubre la determinación de la gravedad específica Bulk y la densidad de especímenes de mezclas bituminosas compactadas.

c. Significado y uso

Los resultados obtenidos en este ensayo pueden ser utilizados para determinar el peso unitario de mezclas bituminosas densas compactadas y en conjunto con el método de ensayo D3203 El porcentaje de vacíos. Los mismos que pueden ser utilizados para la obtención del grado de compactación relativa.

Debido a que la Gravedad específica es adimensional se la debe convertir en densidad multiplicándola por la densidad del agua a la temperatura del ensayo.

d. Equipos necesarios

- ✓ Balanza: debe tener la suficiente sensibilidad y con una apreciación de 0.01gr permitiendo colocar muestras en el rango de 1000gr hasta 9999gr. Debe contener un sistema para pesar la muestra mientras está suspendida en agua.
- ✓ Baño María: capaz de mantener una temperatura de  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , para sumergir al espécimen en agua mientras está sumergido. No se necesita un instrumento sofisticado, cualquier método que permita mantener la temperatura puede ser utilizado.

Nota: En sustitución del baño maría se coloca agua calentada mediante una hornilla en un balde plástico hasta lograr la temperatura deseada.

Fotografía. 2.8. Fotografía de Canastilla y Balde



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

- ✓ Horno: capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

✓ Termómetro: deberá tener una precisión de 0.5 °C.

e. Preparación de las muestras

Para la obtención de la muestra existen dos posibilidades:

- 1) La extracción de núcleos en campo
- 2) Mezclas bituminosas moldeadas en laboratorio

El tamaño de las muestras se recomienda de la siguiente manera:

1. Diámetro de la muestra cilíndrica debe ser igual o mayor a cuatro veces el tamaño máximo del agregado.
2. El espesor de la muestra debe tener una dimensión mínima de 1.5 veces el tamaño máximo del agregado.

*Nota:* Para este caso se utilizó las mismas muestras utilizadas para la realización del ensayo de módulo dinámico.

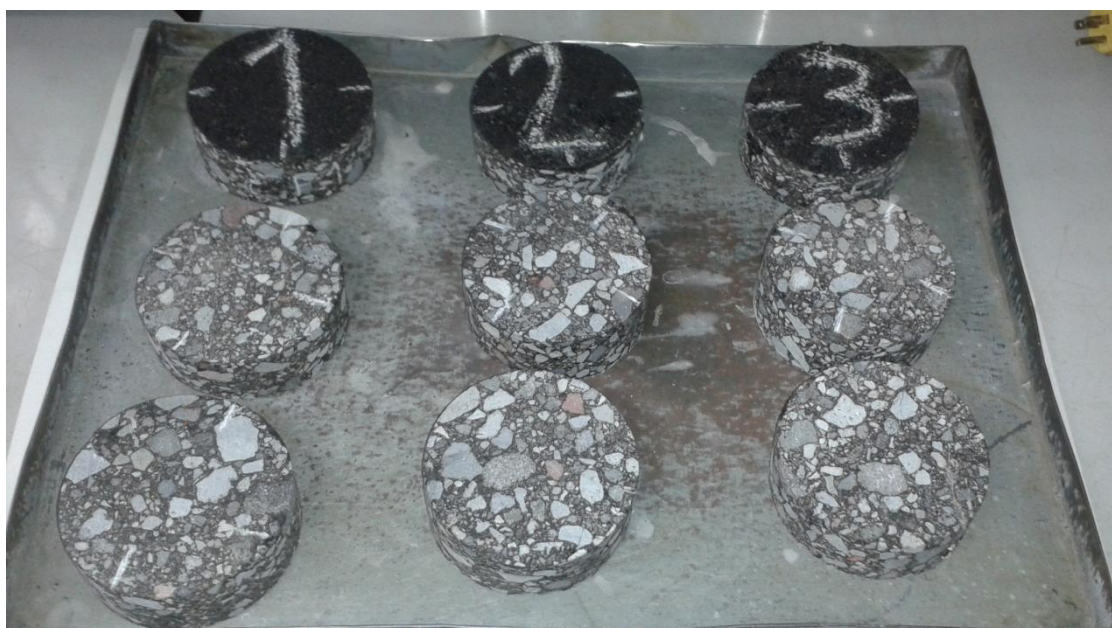
f. Procedimiento de ensayo

1. Se determina la masa del espécimen seco en aire: se pesa el espécimen después de dejarlo a temperatura ambiente por al menos 1 hora, este valor se designa A.
2. Masa de espécimen en agua: sumergir completamente la muestra en el baño maría a  $25 \pm 1$  °C de 3 a 5 minutos. Determinar la masa de la muestra sumergida en agua, designar este valor como C.
3. Masa de la muestra en el aire saturada con superficie seca: secar la superficie del espécimen con una toalla rápidamente, determinando la masa en el aire que se denomina B.

*Nota:* Si se requiere secar la muestra para obtener el valor de A se puede colocar en un horno a  $110 \pm 5$ °C, sin embargo a esta temperatura cambiará las características y

forma de la muestra, por lo que se puede secar la muestra a una temperatura reducida de 52°C.

Fotografía. 2.9. Fotografía de Muestras después de ser cortadas



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

g. Cálculos

- Determinación de la Gravedad Específica Bulk:

$$G_{BULK} = \frac{A}{B-C} \quad \text{Ecuación 2.2.}$$

Donde:

A	Masa del espécimen seco en aire, gr
B - C	Masa del volumen de agua para el volumen del espécimen a 25°C
B	Masa del espécimen en aire saturado con superficie seca, gr
C	Masa del espécimen sumergida en agua, gr

- Calculo de densidad de la muestra:

$$Densidad = G_{BULK} * 997.0 \quad \text{Ecuación 2.3.}$$

Donde:

997.0                      Densidad del agua en kg/m<sup>3</sup> a 25°C

- Cálculo de agua absorbida por el espécimen en porcentaje:

$$\% \text{ De agua absorbida por volumen} = \frac{B-A}{B-C} * 100 \quad \text{Ecuación 2.4.}$$

Si el porcentaje de agua absorbida supera el 2% se debe realizar el método de ensayo D1188 o D6752.

## 2.2.MÓDULO DINÁMICO

### 2.2.1. Norma de referencia

AASHTO TP 62-03: Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures

### 2.2.2. Alcance

Este método cubre los procedimientos para preparar y ensayar mezclas de concreto asfáltico, para determinar el módulo dinámico y el ángulo de fase para un rango de temperaturas y frecuencias de cargas.

### 2.2.3. Significado y uso

Los valores del módulo dinámico registrados para un rango de temperaturas y frecuencias de cargas pueden ser acomodados para la generación de la curva maestra y caracterización de concreto asfáltico en el diseño de la estructura del pavimento y el análisis de su desempeño.

### 2.2.4. Equipos necesarios

- ✓ Sistema de ensayo de módulo dinámico: este sistema consiste en la máquina de ensayo, cámara de ambientador, y el sistema de medición.

Fotografía. 2.10. Fotografía del Sistema de ensayo



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

- ✓ Máquina de ensayo: máquina de prueba servo-hidráulica capaz de producir una carga cíclica de compresión controlada. Debe producir un rango de frecuencias entre 0.1 y 25 Hz, y un nivel de esfuerzo de 2800 kPa. Para carga sinusoidal, el error estándar de la carga aplicada debe ser menor al 5%.
- ✓ Cámara ambientadora: capaz de controlar la temperatura del espécimen ensayado. El rango de temperatura a las que debe estar sujeta es -10 a 60 °C con una apreciación de  $\pm 0.5$  °C. El tamaño de la cámara debe ser suficiente



para acomodar los especímenes de ensayo y un espécimen de control al cual se le acoplan dos sensores termoeléctricos en el centro del núcleo para controlar la temperatura.

- ✓ Sistema de Medición: El sistema se lo debe controlar mediante el uso de computadora capaz de medir y registrar el tiempo de la carga aplicada y las deformaciones axiales. Debe ser capaz de medir el periodo de la carga sinusoidal aplicada y las deformaciones resultantes con una apreciación del 0.5%.
- ✓ LVDT: Son conocidos por sus siglas en inglés, Linear Variable Differential Transformers, estos elementos son colocados entre dos apoyos fijos del espécimen para medir su deformación. Su colocación puede ser de tres maneras: dos LVDT a 180° de separación, tres LDVT a 120° de separación y cuatro LVDT a 90° de separación.

*Nota:* Mientras más LVDT se tiene un resultado más acertado debido a que si uno falla se puede descartar y utilizar los restantes.

- ✓ Platinas de carga: cuyo dimensión debe ser  $104.5 \pm 0.5$  mm, y se requiere colocarlas una en la base del espécimen y otra en su parte superior para transferir la carga de la máquina de ensayo al espécimen.
- ✓ Reductores de fricción: deben ser colocados entre la muestra y las platinas de carga, pueden ser dos hojas de teflón o membranas de látex de 0.5 mm de espesor y estar cubiertas por grasa de silicona para reducir al máximo esfuerzos de fricción.

- ✓ Apoyos metálicos: son colocados en los puntos en donde estarán ubicados los LVDT siendo sus apoyos para poder medir la deformación. Estos deberán estar pegados firmemente a la muestra mediante epóxico.
- ✓ Compactador Giratorio Superpave: sirve para preparar las muestras de laboratorio en concordancia con la AASHTO T 312. Debe ser capaz de compactar especímenes de 170 mm de espesor.
- ✓ Perforadora de núcleo: la máquina debe ser capaz de cortar un núcleo de la muestra hasta obtener la dimensión requerida para el ensayo, la cual es de 100 a 104 mm de diámetro. Este equipo debe poseer broca de diamante y estar perfectamente empotrado para reducir al mínimo el exceso de calor o impacto que puede producir imperfecciones.

#### 2.2.5. Preparación de las muestras

Tomando en cuenta el procedimiento de la norma AASHTO T 312, se procede a realizar la compactación de la muestra.

- Prender el compactador un tiempo considerado en el manual para precalentamiento.
- Verificar las configuraciones del compactador.
- Precalentar el molde, el plato base y el embudo en un horno a 93 °C por un tiempo entre 30 y 60 minutos.
- Precalentar la mezcla asfáltica en un horno a 132 °C.
- Una vez que la mezcla ha alcanzado la temperatura deseada, remover del horno el molde y el plato base y colocar un disco de papel en el fondo del molde.
- Mezclar una cantidad de 5200 gramos de la muestra, que van a ser compactados, con la ayuda de una cuchara calentada, colocar cuidadosamente en el embudo, y

colocar toda la muestra en el molde rápidamente, teniendo cuidado de no producir segregación del material.

- Con una cuchara o espátula caliente nivelar la altura de la mezcla en el molde y finalmente colocar un disco de papel encima de ella.
- Colocar el molde dentro de la cámara del compactador y centrar la muestra para alinear con el pistón del equipo.
- Colocar dentro de la configuración de la máquina la presión, el ángulo y giros por minuto. Presionar el botón de inicio y esperar a que el proceso termine.
- En la mayoría de los casos la muestra compactada puede ser movida inmediatamente. Con la ayuda de un gato hidráulico se extrae la muestra, cuidando de no producir daños a la misma. Se necesita un periodo de enfriamiento de 5 a 10 minutos frente a un ventilador.
- Retirar los discos de papel de la muestra.

Fotografía. 2.11. Fotografía del compactador giratorio



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Para la extracción del núcleo de la muestra obtenida mediante el uso del compactador se realiza con la perforadora de núcleos teniendo los cuidados mencionados anteriormente, con lo que se obtendrá un espécimen cilíndrico, con paredes lisas, paralelas libre de salientes, crestas y surcos. Las dimensiones que se deben obtener a partir de esta extracción deben ser: diámetro entre 100 y 104 mm con una desviación estándar de 1 mm, altura: debe estar entre 147.5 y 152.5 mm

*Nota:* Las muestras ensayadas fueron de aproximadamente 140mm de altura por limitaciones en el equipo del compactador giratorio.

Fotografía. 2.12. Fotografía Perforación del Núcleo

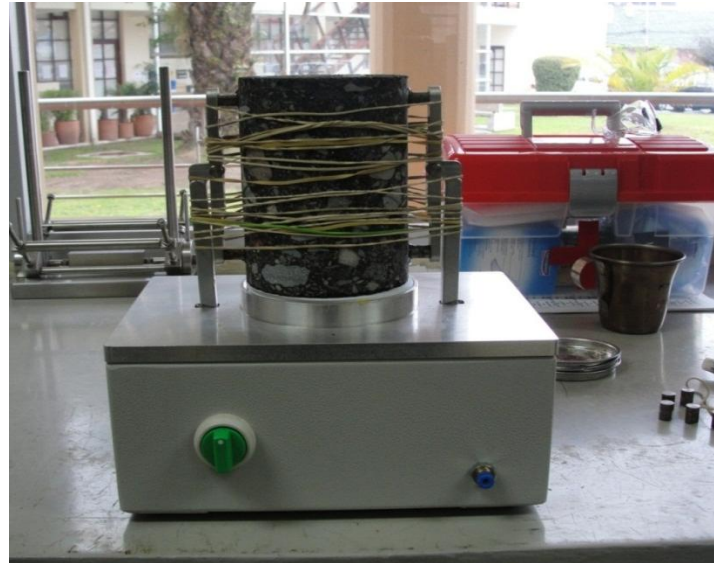


Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Colocar cuidadosamente los apoyos metálicos donde se sostendrá los LVDT, ubicándolos en pares, bajo la misma alineación, mediante el uso de un epóxico duro de secado rápido. La distancia entre los apoyos será de  $101.6 \pm 1\text{mm}$ . Durante el

proceso de fraguado inicial del epóxico se utiliza la ayuda de ligas elásticas, las cuales ayudan a presionar los apoyos con la fuerza suficiente para pegarlos.

Fotografía. 2.13. Fotografía Colocación de Apoyos Metálicos



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

#### 2.2.6. Procedimiento de ensayo

1. Las series del ensayo para desarrollar las curvas maestras en la respuesta y análisis de desempeño deben ser para temperatura: -10, 4, 21, 37 y 54 °C; y para las cargas de frecuencia son: 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 25 Hz para cada temperatura. Cada uno de los especímenes debe ser ensayado individualmente con sus LVDT para las 30 combinaciones de temperatura y frecuencia de carga, comenzando con las temperaturas bajas hasta llegar a las altas y empezando con las frecuencias altas disminuyendo hasta llegar a las bajas.
2. Colocar el espécimen en la cámara ambientadora que permite equilibrar la temperatura del ensayo con un error de  $\pm 0.5$  °C. El espécimen de control deberá contener los sensores termoelectrónicos en el centro de la muestra, los mismos que deben determinar cuando los especímenes de ensayo hayan alcanzado la

temperatura de ensayo. A continuación se presenta en la Tabla 2.3. que muestra las tiempos aproximados de espera para cada cambio de temperatura:

Tabla. 2.3. Tiempo recomendado para la adecuación de la temperatura

Temperatura del espécimen °C	Tiempo para la adecuación de temperatura Horas
-10	Durante la noche
4	4 horas o durante la noche
21	3
37	2
54	1

Fuente: Norma AASHTO TP 62 - 03

3. Colocar los reductores de fricción en las platinas de carga, tanto arriba y debajo de la muestra. Ubicar el espécimen en el soporte base centrándolo con el pistón hidráulico visualmente para evitar excentricidades de carga. Ubicar los LVDT en sus posiciones.

Fotografía. 2.14. Fotografía de la muestra con las platinas de carga previo a la colocación dentro del equipo.



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

4. Aplicar una carga de contacto equivalente al 5% de la carga dinámica que será aplicada en el espécimen. Es aceptable incrementar el esfuerzo de contacto a 20 kPa para mejorar la eficiencia del control de la máquina, aplicando una carga que permitirá un contacto positivo con la muestra sin aplicar daño a la misma.
5. Ajustar las configuraciones y balances del sistema de medición electrónicos que sean necesarias.
6. Aplicar una carga sinusoidal al espécimen de manera cíclica. La carga dinámica debe ser ajustada para obtener esfuerzos axiales en el rango de 50 y 150 microstrain. Este ajuste viene dado por la siguiente tabla 2.4.:

Tabla. 2.4. Rango de valores del esfuerzo Dinámico

Temperatura °C	Rango kPa	Valor utilizado kPa
-10	1400 – 2800	2000
4	700 – 1400	1050
21	350 – 700	525
37	140 – 250	195
54	35 – 70	50

Fuente: Norma AASHTO TP 62 - 03

7. Al inicio del ensayo se debe preconditionar a la muestra con 200 ciclos a 25 Hz. El número de ciclos para cada frecuencia viene dictaminado por la siguiente tabla 2.5.:

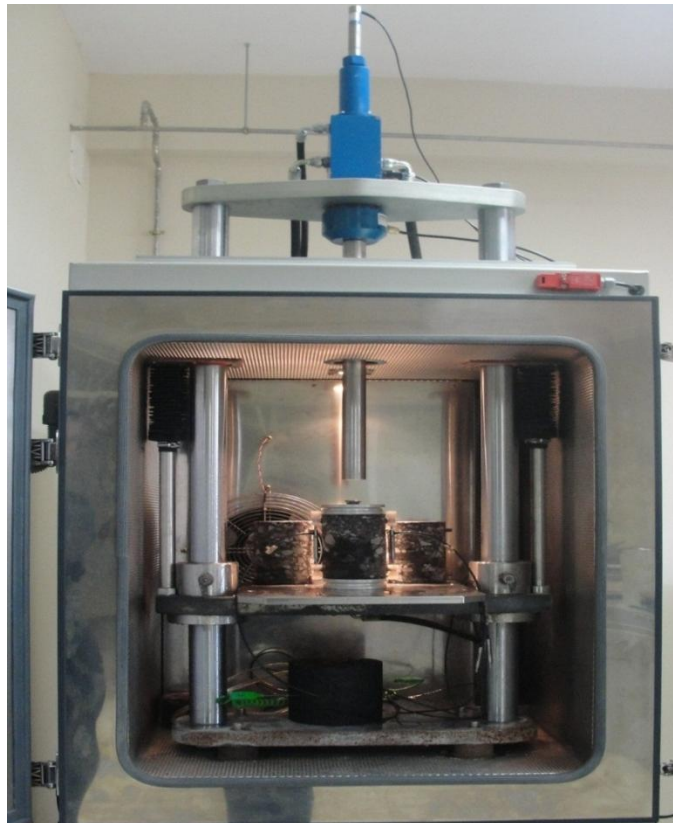
Tabla. 2.5. Número de ciclos por cada frecuencia

Frecuencia Hz	Número de ciclos
25	200
10	200
5	100
1	20
0.5	15
0.1	15

Fuente: Norma AASHTO TP 62 - 03

El periodo típico de descanso entre dos frecuencias es dos minutos, este periodo no debe exceder un tiempo de 30 minutos para dos frecuencias consecutivas.

Fotografía. 2.15. Fotografía de las muestras y del espécimen de control dentro del equipo.



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega



## CAPÍTULO III

### TABULACIÓN, ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

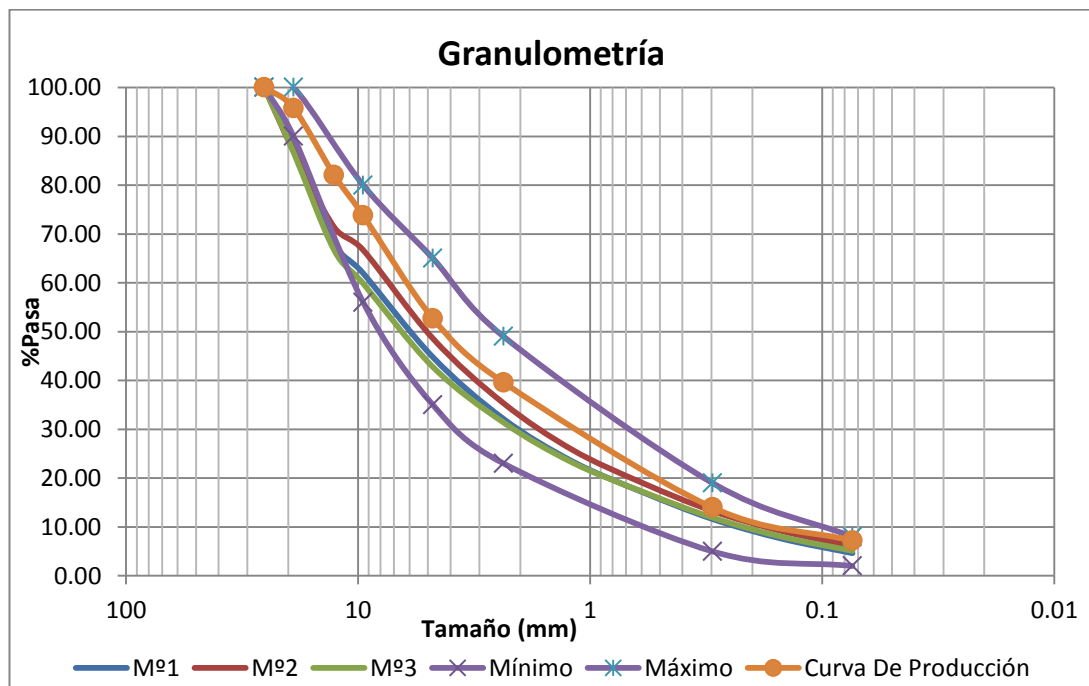
#### 3.1. Caracterización de la mezcla

##### 3.1.1. MEZCLA 1

##### 3.1.1.1. *Granulometría*

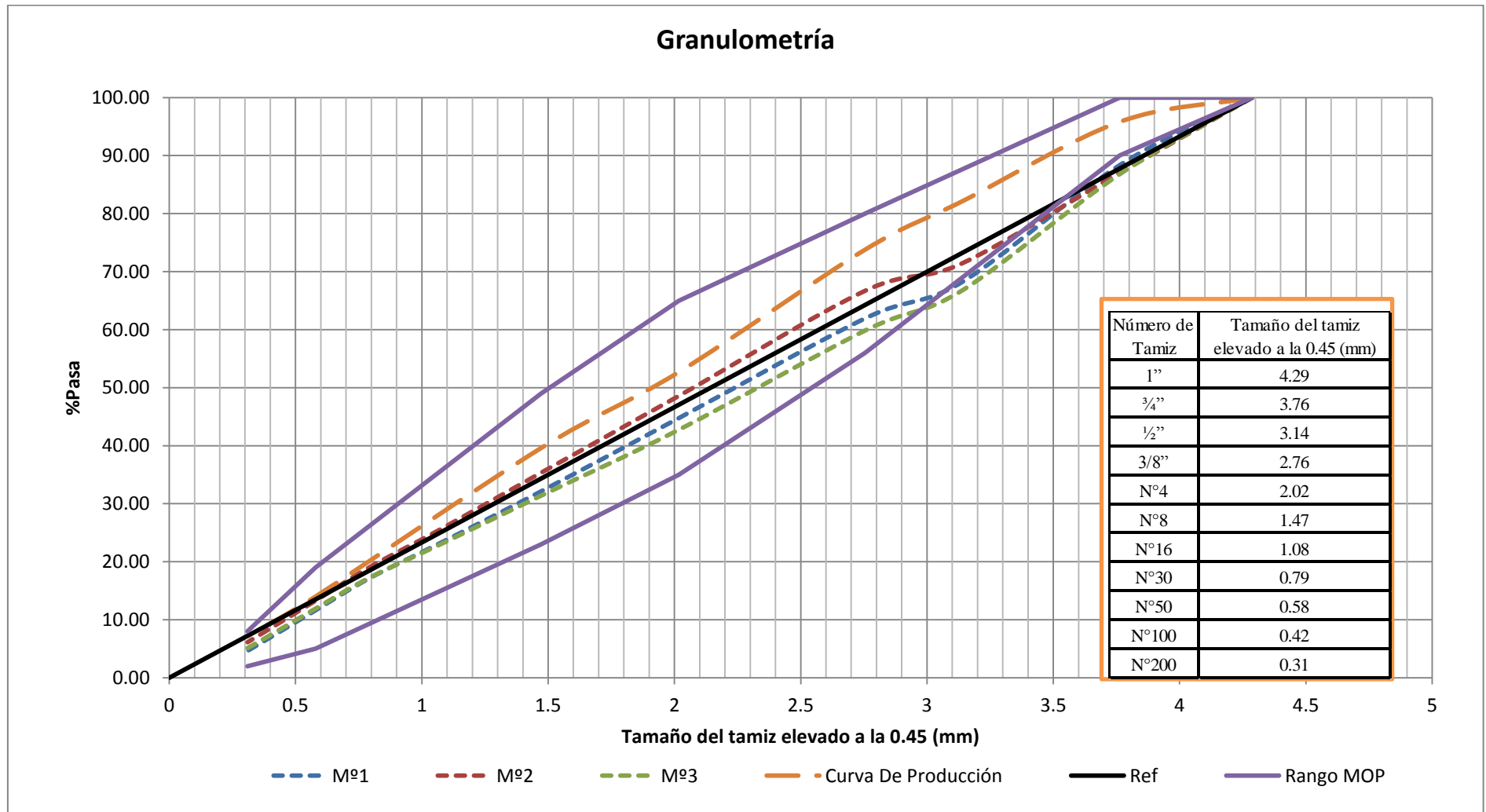
Se presenta a continuación los cuadros de los datos de granulometría para las tres muestras que se obtuvieron a partir del ensayo del horno de ignición, además de la gráfica de las curvas granulométricas de las mismas, la granulometría de la mezcla de diseño de la planta asfáltica y los límites especificados en la norma MOP 001 – F – 2002.

Figura. 3.1. Granulometría mezcla 1 en escala semi - logarítmica



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Figura. 3.2. Granulometría mezcla 1



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Pavimentación C. Cusubamba	<b>SOLICITADO POR</b>	
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Sector Turubamba	<b>ENSAYADO POR</b>	
<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>CALCULADO POR</b>	
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b>	27/02/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01		

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	1933.10
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1				
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	225.24	225.24	11.67	88.33
1/2"	12.7	388.62	613.86	31.80	68.20
3/8"	9.51	120.62	734.48	38.05	61.95
N°4	4.76	331.70	1066.18	55.23	44.77
N°8	2.362	243.93	1310.11	67.87	32.13
N°16	1.19	168.42	1478.53	76.59	23.41
N°30	0.595	121.02	1599.55	82.86	17.14
N°50	0.297	106.33	1705.88	88.37	11.63
N°100	0.149	77.90	1783.78	92.41	7.59
N°200	0.074	57.05	1840.83	95.36	4.64
PASA N°200		89.53	1930.36	100.00	0.00
SUMA		1930.36			
% DE ERROR		0.142			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Pavimentación C. Cusubamba	<b>SOLICITADO POR</b>	
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Sector Turubamba	<b>ENSAYADO POR</b>	
<b>MUESTRA N°</b>	2	<b>CALCULADO POR</b>	
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b>	27/02/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01		

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	1937.00
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1				
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	250.92	250.92	12.98	87.02
1/2"	12.7	301.79	552.71	28.58	71.42
3/8"	9.51	91.14	643.85	33.29	66.71
N°4	4.76	350.24	994.09	51.41	48.59
N°8	2.362	256.26	1250.35	64.66	35.34
N°16	1.19	185.03	1435.38	74.23	25.77
N°30	0.595	130.52	1565.90	80.98	19.02
N°50	0.297	111.13	1677.03	86.72	13.28
N°100	0.149	79.65	1756.68	90.84	9.16
N°200	0.074	58.59	1815.27	93.87	6.13
PASA N°200		118.51	1933.78	100.00	0.00
SUMA		1933.78			
% DE ERROR		0.166			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Pavimentación C. Cusubamba	<b>SOLICITADO POR</b>	
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Sector Turubamba	<b>ENSAYADO POR</b>	
<b>MUESTRA N°</b>	3	<b>CALCULADO POR</b>	
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b>	27/02/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01		

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	1954.20
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1				
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	258.00	258.00	13.22	86.78
1/2"	12.7	390.96	648.96	33.26	66.74
3/8"	9.51	134.24	783.20	40.15	59.85
N°4	4.76	333.57	1116.77	57.24	42.76
N°8	2.362	221.73	1338.50	68.61	31.39
N°16	1.19	160.50	1499.00	76.84	23.16
N°30	0.595	115.75	1614.75	82.77	17.23
N°50	0.297	103.54	1718.29	88.08	11.92
N°100	0.149	76.98	1795.27	92.02	7.98
N°200	0.074	55.87	1851.14	94.89	5.11
PASA N°200		99.78	1950.92	100.00	0.00
SUMA		1950.92			
% DE ERROR		0.168			

### 3.1.1.2. Rice

A continuación se presenta las hojas de resumen de las tres muestras ensayadas en laboratorio:

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b> <b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>			
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 3
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>
<b>PROYECTO:</b>			<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Calle Cusubamba		<b>CONSTRUYE:</b> PCV
<b>PROVINCIA:</b> PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b>		
<b>EMISIÓN:</b>			
<b>ID MUESTRA:</b>			
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b> 2014-02-26
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>			
<b>MÉTODO:</b> N/D	<b>MUESTREO:</b> N/D	<b>POR:</b>	
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	muestra tomada en campo		
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b>	
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
<b>M</b>	1	Número de muestra	
<b>TM</b>	1	Número total de muestras	
<b>A</b>	2534.9	Masa de la muestra [g]	
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	
<b>E</b>	8881.8	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b>			
<b>B</b>	844.90	Masa de la bandeja [g]	
<b>Mi</b>	3447.1	Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>	
1	3412.20	1.01	
2	3396.5	0.46	
3	3374.3	0.65	
4	3364.8	0.28	
5	3362.1	0.08	
6	3361.2	0.03	Superficie seca
7			
8			
<b>A'</b>	2517.2	Masa de la muestra con superficie seca [g]	
<b>Gmm</b>	2.351	Gravedad Específica Máxima Teórica	

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b> <b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>				
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 2 de 3	
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>	
<b>PROYECTO:</b>			<b>FISCALIZA:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>	Calle Cusubamba		<b>CONSTRUYE:</b>	PCV
<b>PROVINCIA:</b>	PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b>		
<b>EMISIÓN:</b>				
<b>ID MUESTRA:</b>				
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>	2014-01-26
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>				
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b>	N/D	<b>POR:</b>
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	muestra tomada en campo			
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE	
<b>M</b>	1	Número de muestra		
<b>TM</b>	1	Número total de muestras		
<b>A</b>	2539.7	Masa de la muestra [g]		
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]		
<b>E</b>	8890.9	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]		
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?		
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b>				
<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]		
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]		
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]		
<b>Gmm</b>	2.365	Gravedad Específica Máxima Teórica		

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b> <b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>			
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 3 de 3
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>
<b>PROYECTO:</b>			<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Calle Cusubamba		<b>CONSTRUYE:</b> PCV
<b>PROVINCIA:</b> PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b>	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>			
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b> 2014-02-26
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>			
<b>MÉTODO:</b> N/D	<b>MUESTREO:</b> N/D	<b>POR:</b>	
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	muestra tomada en campo		
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b>	
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b> METÁLICO			
<b>PROCEDIMIENTO:</b>		DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE	
<b>M</b>	1	Número de muestra	
<b>TM</b>	1	Número total de muestras	
<b>A</b>	2569.2	Masa de la muestra [g]	
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	
<b>E</b>	8906.2	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b>			
<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]	
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]	
<b>Gmm</b>	2.362	Gravedad Específica Máxima Teórica	



Con las hojas de Informe antes presentadas se puede concluir que para las muestras ensayadas el Gmm es:

Tabla. 3.1. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica máxima teórica RICE

MUESTRA	Gmm
Muestra 1	2.351
Muestra 2	2.365
Muestra 3	2.362
Promedio	2.359

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Analizando el promedio obtenido con el valor dado por el diseño de Planta asfáltica Naranjo-López, se encuentra que el valor es bastante cercano a la realidad ya que el resultado obtenido en el laboratorio de la muestra de campo solamente difiere en 0.007.

#### *3.1.1.3. Contenido de asfalto mediante el uso del horno de ignición*

A continuación se presenta las tres hojas del ensayo del horno de ignición.

En el Anexo 4 se adjunta la hoja de resultados que arroja el horno de ignición para las tres muestras.

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>																																											
NORMA: AASHTO T308-08			ORDEN:		HOJA		1 de 3																																				
CLIENTE:					SOLICITA:																																						
PROYECTO:		Pavimentación Calle Cusubamba			FISCALIZA:																																						
UBICACIÓN:		Sector Turubamba			CONSTRUYE:		PCV																																				
PROVINCIA:		Pichincha	CANTÓN:		Quito	EMISIÓN:																																					
ID MUESTRA:																																											
MEZCLA:					FECHA ELAB:																																						
ORIGEN MUESTRA:																																											
MÉTODO:		MUESTREO:		POR:																																							
CONDICIÓN MUESTRA:																																											
RECEPCIÓN:		POR:		ENSAYO:																																							
MÉTODO DE ENSAYO:		B		TIPO DE HORNO:		IRRADIACIÓN IR																																					
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?				NO		MASA CTE																																					
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				Si fue determinado por AASHTO T 329																																							
¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?				NO		C <sub>F</sub>																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"><b>Mb</b></td> <td style="width: 15%; text-align: right;">3385.10</td> <td>Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mti</b></td> <td style="text-align: right;">5443.20</td> <td>Masa total inicial (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mi</b></td> <td style="text-align: right;">2058.10</td> <td>Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mth</b></td> <td style="text-align: right;">5447.10</td> <td>Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>Δ M</b></td> <td style="text-align: right;">3.90</td> <td>Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td><b>Mtf</b></td> <td style="text-align: right;">5319.02</td> <td>Masa total final (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Mf</b></td> <td style="text-align: right;">1933.92</td> <td>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td><b>Pb</b></td> <td style="text-align: right;">6.03</td> <td>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding-top: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;"><b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b></td> <td></td> <td>(Aplica en Método A)</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td><b>Pb c</b></td> <td></td> <td>Contenido de ligante corregido (%)</td> </tr> <tr> <td><b>T</b></td> <td style="text-align: right;">430.00</td> <td>Temperatura del ensayo (°C)</td> </tr> </table>								<b>Mb</b>	3385.10	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)	<b>Mti</b>	5443.20	Masa total inicial (balanza externa) (g)	<b>Mi</b>	2058.10	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)	<b>Mth</b>	5447.10	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)	<b>Δ M</b>	3.90	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)	<b>Mtf</b>	5319.02	Masa total final (balanza externa) (g)	<b>Mf</b>	1933.92	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)	<b>Pb</b>	6.03	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;"><b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b></td> <td></td> <td>(Aplica en Método A)</td> </tr> </table>			<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		(Aplica en Método A)	<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)	<b>T</b>	430.00	Temperatura del ensayo (°C)
<b>Mb</b>	3385.10	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)																																									
<b>Mti</b>	5443.20	Masa total inicial (balanza externa) (g)																																									
<b>Mi</b>	2058.10	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)																																									
<b>Mth</b>	5447.10	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)																																									
<b>Δ M</b>	3.90	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)																																									
<b>Mtf</b>	5319.02	Masa total final (balanza externa) (g)																																									
<b>Mf</b>	1933.92	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)																																									
<b>Pb</b>	6.03	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;"><b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b></td> <td></td> <td>(Aplica en Método A)</td> </tr> </table>			<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		(Aplica en Método A)																																						
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		(Aplica en Método A)																																									
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)																																									
<b>T</b>	430.00	Temperatura del ensayo (°C)																																									

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>																																								
NORMA: AASHTO T308-08			ORDEN:		HOJA		2 de 3																																	
CLIENTE:					SOLICITA:																																			
PROYECTO:		Pavimentación Calle Cusubamba			FISCALIZA:																																			
UBICACIÓN:		Sector Turubamba			CONSTRUYE:		PCV																																	
PROVINCIA:		Pichincha	CANTÓN:		Quito	EMISIÓN:																																		
ID MUESTRA:																																								
MEZCLA:					FECHA ELAB:																																			
ORIGEN MUESTRA:																																								
MÉTODO:			MUESTREO:			POR:																																		
CONDICIÓN MUESTRA:																																								
RECEPCIÓN:			POR:			ENSAYO:																																		
MÉTODO DE ENSAYO:		B		TIPO DE HORNO:		IRRADIACIÓN IR																																		
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?				NO		MASA CTE																																		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				Si fue determinado por AASHTO T 329																																				
¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?				NO		C <sub>F</sub>																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>Mb</b></td> <td style="width: 15%; text-align: center;">3386.66</td> <td style="width: 75%;">Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mti</b></td> <td style="text-align: center;">5445.40</td> <td>Masa total inicial (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mi</b></td> <td style="text-align: center;">2058.74</td> <td>Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mth</b></td> <td style="text-align: center;">5448.90</td> <td>Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Δ M</b></td> <td style="text-align: center;">3.50</td> <td>Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mtf</b></td> <td style="text-align: center;">5317.64</td> <td>Masa total final (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mf</b></td> <td style="text-align: center;">1930.98</td> <td>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Pb</b></td> <td style="text-align: center;">6.23</td> <td>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="padding-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</span> <span>(Aplica en Método A)</span> </div> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Pb c</b></td> <td></td> <td>Contenido de ligante corregido (%)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>T</b></td> <td style="text-align: center;">430.00</td> <td>Temperatura del ensayo (°C)</td> </tr> </table>								<b>Mb</b>	3386.66	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)	<b>Mti</b>	5445.40	Masa total inicial (balanza externa) (g)	<b>Mi</b>	2058.74	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)	<b>Mth</b>	5448.90	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)	<b>Δ M</b>	3.50	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)	<b>Mtf</b>	5317.64	Masa total final (balanza externa) (g)	<b>Mf</b>	1930.98	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)	<b>Pb</b>	6.23	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)	<div style="border: 1px solid black; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</span> <span>(Aplica en Método A)</span> </div>			<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)	<b>T</b>	430.00	Temperatura del ensayo (°C)
<b>Mb</b>	3386.66	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)																																						
<b>Mti</b>	5445.40	Masa total inicial (balanza externa) (g)																																						
<b>Mi</b>	2058.74	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)																																						
<b>Mth</b>	5448.90	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)																																						
<b>Δ M</b>	3.50	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)																																						
<b>Mtf</b>	5317.64	Masa total final (balanza externa) (g)																																						
<b>Mf</b>	1930.98	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)																																						
<b>Pb</b>	6.23	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)																																						
<div style="border: 1px solid black; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</span> <span>(Aplica en Método A)</span> </div>																																								
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)																																						
<b>T</b>	430.00	Temperatura del ensayo (°C)																																						

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>																																																	
NORMA: AASHTO T308-08			ORDEN:		HOJA		3 de 3																																										
CLIENTE:					SOLICITA:																																												
PROYECTO:		Pavimentación Calle Cusubamba			FISCALIZA:																																												
UBICACIÓN:		Sector Turubamba			CONSTRUYE:		PCV																																										
PROVINCIA:		Pichincha	CANTÓN:		Quito	EMISIÓN:																																											
ID MUESTRA:																																																	
MEZCLA:					FECHA ELAB:																																												
ORIGEN MUESTRA:																																																	
MÉTODO:		MUESTREO:		POR:																																													
CONDICIÓN MUESTRA:																																																	
RECEPCIÓN:		POR:		ENSAYO:																																													
MÉTODO DE ENSAYO:		B		TIPO DE HORNO:		IRRADIACIÓN IR																																											
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?				NO		MASA CTE																																											
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				Si fue determinado por AASHTO T 329																																													
¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?				NO		C <sub>F</sub>																																											
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Mb</b></td> <td style="width: 15%; border: 1px solid black; text-align: center;">3384.70</td> <td style="border: none;">Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Mti</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">5465.81</td> <td style="border: none;">Masa total inicial (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Mi</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2081.11</td> <td style="border: none;">Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Mth</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">5469.80</td> <td style="border: none;">Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Δ M</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3.99</td> <td style="border: none;">Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Mtf</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">5340.94</td> <td style="border: none;">Masa total final (balanza externa) (g)</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Mf</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1956.24</td> <td style="border: none;">Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Pb</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">5.97</td> <td style="border: none;">Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="border: none; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border: 1px solid black; text-align: center;">¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">(Aplica en Método A)</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="border: none; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>Pb c</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"></td> <td style="border: none;">Contenido de ligante corregido (%)</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="border: none; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><b>T</b></td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">430.00</td> <td style="border: none;">Temperatura del ensayo (°C)</td> </tr> </table>								<b>Mb</b>	3384.70	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)	<b>Mti</b>	5465.81	Masa total inicial (balanza externa) (g)	<b>Mi</b>	2081.11	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)	<b>Mth</b>	5469.80	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)	<b>Δ M</b>	3.99	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)	<b>Mtf</b>	5340.94	Masa total final (balanza externa) (g)	<b>Mf</b>	1956.24	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)	<b>Pb</b>	5.97	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)				¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?		(Aplica en Método A)				<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)				<b>T</b>	430.00	Temperatura del ensayo (°C)
<b>Mb</b>	3384.70	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)																																															
<b>Mti</b>	5465.81	Masa total inicial (balanza externa) (g)																																															
<b>Mi</b>	2081.11	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)																																															
<b>Mth</b>	5469.80	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)																																															
<b>Δ M</b>	3.99	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)																																															
<b>Mtf</b>	5340.94	Masa total final (balanza externa) (g)																																															
<b>Mf</b>	1956.24	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)																																															
<b>Pb</b>	5.97	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)																																															
¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?		(Aplica en Método A)																																															
<b>Pb c</b>		Contenido de ligante corregido (%)																																															
<b>T</b>	430.00	Temperatura del ensayo (°C)																																															

Mediante las hojas de ensayo se puede resumir que el contenido de asfalto es:

Tabla. 3.2. Tabla de resumen del resultado del contenido de asfalto

Muestra	Porcentaje de asfalto
No 1	6.03
No 2	6.23
No 3	5.97
Promedio	6.08

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

En el diseño de la planta asfáltica, el porcentaje de asfalto óptimo es del 6.2%, comparando con el porcentaje obtenido en el laboratorio de 6.08% se observa que existe una diferencia de 0.12 %, la misma que representa el 1.94 % de error entre las dos mediciones comparadas.

#### 3.1.1.4. *Gravedad Especifica Bulk*

A continuación se presenta los resultados de las mediciones de las probetas obtenidas, incluido las tres porciones de cada una para obtener los resultados parciales, además de los resultados de gravedad específica Bulk, densidad y porcentaje de agua absorbida.

**ÁREA DE PAVIMENTOS  
INFORME DE ENSAYO  
DIMENSIONES DE NÚCLEOS**

Identificación del Espécimen	LECTURAS					PROMEDIO
	E/D	1	2	3	4	
T1	ESPESOR	137.49	137.32	137.39	137.35	137.39
	DIÁMETRO	100.20	100.22	100.25	100.30	100.24
T2	ESPESOR	135.49	135.64	135.52	135.46	135.53
	DIÁMETRO	100.24	100.30	100.22	100.30	100.27
T3	ESPESOR	132.29	132.19	132.23	132.20	132.23
	DIÁMETRO	100.24	100.23	100.15	100.22	100.21
T1S	ESPESOR	42.09	42.67	43.01	42.71	42.62
	DIÁMETRO	100.35	100.32	100.30	100.26	100.31
T1M	ESPESOR	39.50	38.85	38.46	38.41	38.81
	DIÁMETRO	100.21	100.38	100.24	100.24	100.27
T1I	ESPESOR	47.49	47.91	47.28	46.21	47.22
	DIÁMETRO	100.25	100.32	100.30	100.38	100.31
T2S	ESPESOR	38.94	39.18	39.05	39.38	39.14
	DIÁMETRO	100.30	100.37	100.29	100.35	100.33
T2M	ESPESOR	43.64	42.90	42.63	45.09	43.57
	DIÁMETRO	100.16	100.24	100.27	100.29	100.24
T2I	ESPESOR	43.99	43.32	42.97	43.45	43.43
	DIÁMETRO	100.35	100.36	100.29	100.31	100.33
T3S	ESPESOR	38.07	38.42	38.32	38.29	38.28
	DIÁMETRO	100.21	100.18	100.25	100.26	100.23
T3M	ESPESOR	42.52	41.54	42.14	42.86	42.27
	DIÁMETRO	100.31	100.21	100.23	100.28	100.26
T3I	ESPESOR	42.05	43.11	45.10	43.86	43.53
	DIÁMETRO	100.27	100.25	100.19	100.22	100.23

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS (HMA)</b> <b>USANDO ESPECÍMENES SSS</b>								
<i>Briqueta</i>	<i>Espesor del espécimen (mm)</i>	<i>Diámetro del espécimen (mm)</i>	<i>Masa seca (gr) A</i>	<i>Masa Sumergida (gr) C</i>	<i>Masa SSS (gr) B</i>	<i>Gravedad Bulk</i>	<i>Densidad</i>	<i>% de agua absorbida</i>
T1	137.39	100.24	2459.35	1391.35	2461.32	2.299	2291.63	0.18
T2	135.53	135.53	2429.74	1371.38	2431.09	2.293	2285.96	0.13
T3	132.23	100.21	2364.83	1331.56	2365.79	2.287	2279.70	0.09
T1S	42.62	100.31	752.45	423.15	753.14	2.280	2273.38	0.21
T1M	38.81	100.27	705.11	404.71	705.52	2.344	2337.01	0.14
T1I	47.22	100.31	822.00	460.41	823.03	2.267	2260.04	0.28
T2S	39.14	100.33	689.67	382.14	690.19	2.239	2232.11	0.17
T2M	43.57	100.24	788.42	451.21	789.01	2.334	2326.98	0.17
T2I	43.43	100.33	773.67	436.76	774.42	2.291	2284.40	0.22
T3S	38.28	100.23	661.31	365.87	661.61	2.236	2229.41	0.10
T3M	42.27	100.26	770.74	442.20	771.07	2.344	2336.57	0.10
T3I	43.53	100.23	759.71	425.06	760.31	2.266	2259.30	0.18

Donde la identificación de cada porción de la probeta se designa de la siguiente manera: S superior, M medio e I inferior.

Se tiene el siguiente cuadro de resumen de la gravedad Bulk de las probetas ensayadas:

Tabla. 3.3. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica BULK

<b>Muestra</b>	<b>Gravedad Bulk</b>
No 1	2.299
No 2	2.293
No 3	2.287
Promedio	2.293

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

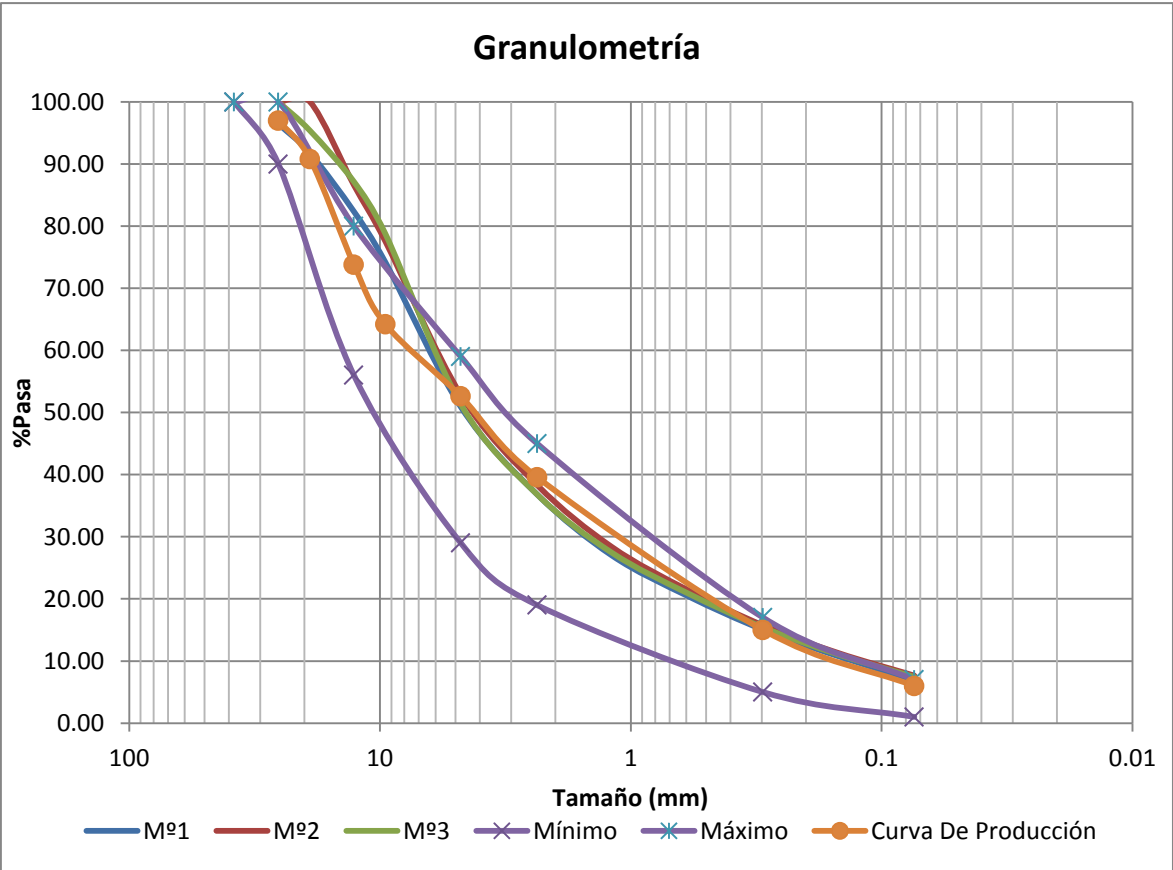
### 3.1.2. MEZCLA 2

#### 3.1.2.1. *Granulometría*

Se presenta a continuación los cuadros de los datos de granulometría para las tres muestras que se obtuvieron a partir del ensayo del horno de ignición, además de la gráfica de las

curvas granulométricas de las mismas, la granulometría de la mezcla de diseño de la planta asfáltica y los límites especificados en la norma MOP 001 – F – 2002.

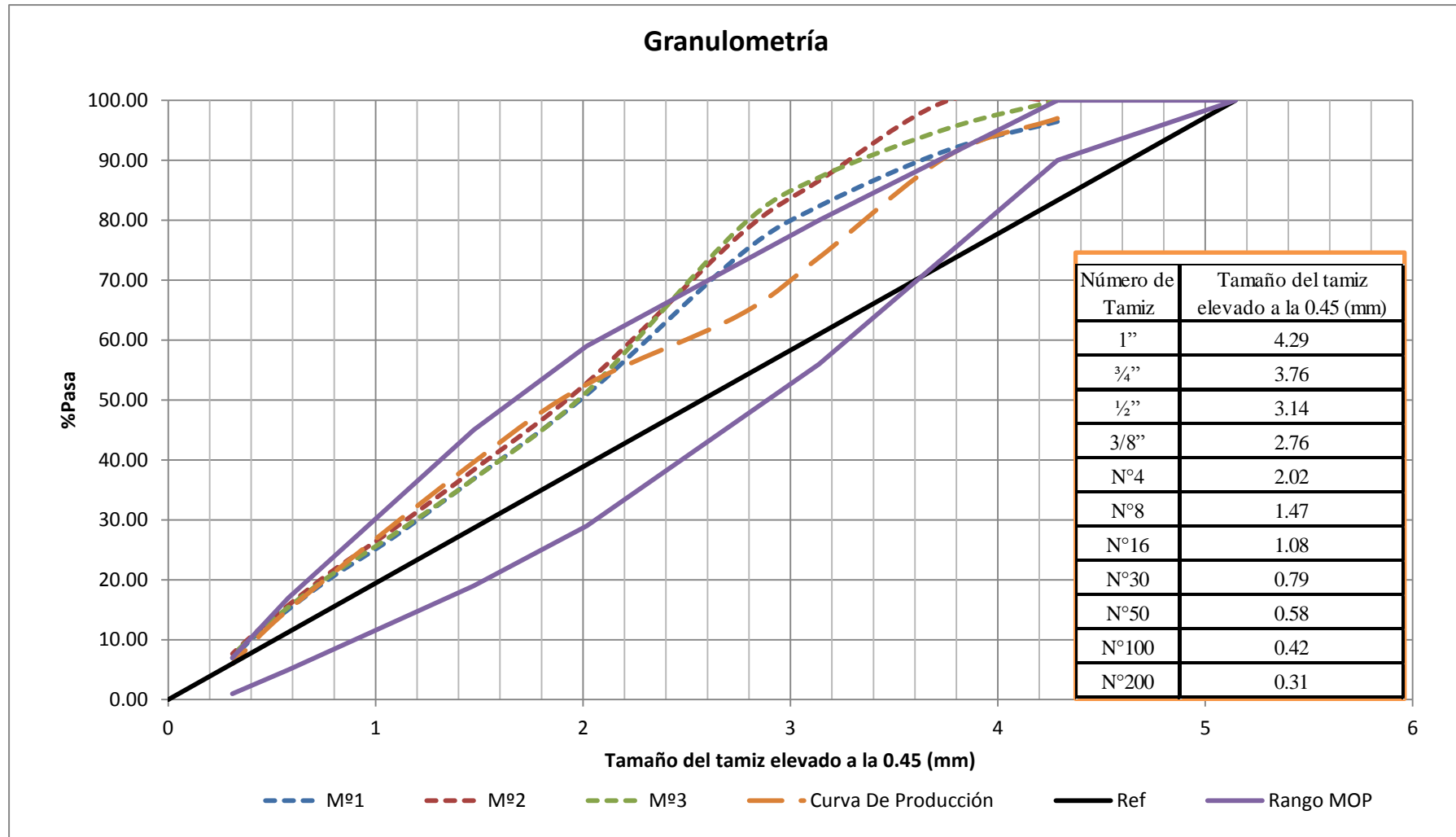
Figura. 3.3. Granulometría mezcla 2 en escala semi - logarítmica



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega



Figura. 3.4. Granulometría mezcla 2



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Base asfáltica Colibrí - Pifo	<b>SOLICITADO POR</b>
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Vía Pintag	<b>ENSAYADO POR</b>
<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>CALCULADO POR</b>
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b> 20/03/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01	

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	2410.00
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	85.10	85.10	3.53	96.47
3/4"	19	113.80	198.90	8.26	91.74
1/2"	12.7	226.00	424.90	17.65	82.35
3/8"	9.51	196.90	621.80	25.82	74.18
N°4	4.76	560.40	1182.20	49.09	50.91
N°8	2.362	339.30	1521.50	63.19	36.81
N°16	1.19	236.50	1758.00	73.01	26.99
N°30	0.595	156.50	1914.50	79.51	20.49
N°50	0.297	131.40	2045.90	84.96	15.04
N°100	0.149	102.30	2148.20	89.21	10.79
N°200	0.074	92.90	2241.10	93.07	6.93
PASA N°200		166.90	2408.00	100.00	0.00
SUMA		2408.00			
% DE ERROR		0.083			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Base asfáltica Colibrí - Pifo	<b>SOLICITADO POR</b>
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Vía Pintag	<b>ENSAYADO POR</b>
<b>MUESTRA N°</b>	2	<b>CALCULADO POR</b>
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b> 20/03/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01	

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	1940.00
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1				
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	259.70	259.70	13.39	86.61
3/8"	9.51	175.90	435.60	22.46	77.54
N°4	4.76	478.60	914.20	47.15	52.85
N°8	2.362	281.80	1196.00	61.68	38.32
N°16	1.19	193.10	1389.10	71.64	28.36
N°30	0.595	133.70	1522.80	78.53	21.47
N°50	0.297	111.00	1633.80	84.26	15.74
N°100	0.149	86.20	1720.00	88.70	11.30
N°200	0.074	70.70	1790.70	92.35	7.65
PASA N°200		148.40	1939.10	100.00	0.00
SUMA		1939.10			
% DE ERROR		0.046			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Base asfáltica Colibrí - Pifo	<b>SOLICITADO POR</b>	
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Vía Pintag	<b>ENSAYADO POR</b>	
<b>MUESTRA N°</b>	3	<b>CALCULADO POR</b>	
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b>	20/03/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01		

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	1965.42
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	21.49	21.49	1.09	100.00
3/4"	19	69.67	91.16	4.64	95.36
1/2"	12.7	161.02	252.18	12.84	87.16
3/8"	9.51	165.10	417.28	21.25	78.75
N°4	4.76	538.33	955.61	48.66	51.34
N°8	2.362	285.32	1240.93	63.19	36.81
N°16	1.19	184.04	1424.97	72.56	27.44
N°30	0.595	127.58	1552.55	79.06	20.94
N°50	0.297	108.58	1661.13	84.59	15.41
N°100	0.149	85.51	1746.64	88.94	11.06
N°200	0.074	71.10	1817.74	92.57	7.43
PASA N°200		146.00	1963.74	100.00	0.00
SUMA		1963.74			
% DE ERROR		0.085			

### 3.1.2.2. Rice

A continuación se presenta las hojas de resumen de las tres muestras ensayadas en laboratorio.

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b> <b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>					
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08			<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 3	
<b>CLIENTE:</b>				<b>SOLICITA:</b>	
<b>PROYECTO:</b>	Base asfáltica vía Colibrí - Pifo			<b>FISCALIZA:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Pintag			<b>CONSTRUYE:</b>	HCC
<b>PROVINCIA:</b>	PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b>	Quito	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>					
<b>MEZCLA:</b>				<b>FECHA ELAB:</b>	2014-03-20
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>					
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b>	N/D	<b>POR:</b>	
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	muestra tomada en campo				
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>	
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE		
<b>M</b>	1	Número de muestra			
<b>TM</b>	1	Número total de muestras			
<b>A</b>	2631.2	Masa de la muestra [g]			
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]			
<b>E</b>	8991.3	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]			
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?			
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b>					
<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]			
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]			
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>			
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]			
<b>Gmm</b>	2.471	Gravedad Específica Máxima Teórica			

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b> <b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>																																								
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 2 de 3																																					
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>																																					
<b>PROYECTO:</b>	Base asfáltica vía Colibrí - Pifo		<b>FISCALIZA:</b>																																					
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Pintag		<b>CONSTRUYE:</b>	HCC																																				
<b>PROVINCIA:</b>	PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b>	Quito	<b>EMISIÓN:</b>																																				
<b>ID MUESTRA:</b>																																								
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>	2014-03-20																																				
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>																																								
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b>	N/D	<b>POR:</b>																																				
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	muestra tomada en campo																																							
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>																																				
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>M</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">1</td> <td>Número de muestra</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>TM</b></td> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Número total de muestras</td> </tr> <tr> <td colspan="3"> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>A</b></td> <td style="text-align: center;">2579.1</td> <td>Masa de la muestra [g]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>D</b></td> <td style="text-align: center;">7424.9</td> <td>Masa del contenedor lleno de agua a <math>25 \pm 0.5</math> °C [g]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>E</b></td> <td style="text-align: center;">8956.4</td> <td>Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a <math>25 \pm 1</math> °C [g]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>PS</b></td> <td style="text-align: center;">NO</td> <td>Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?</td> </tr> </tbody> </table>					<b>M</b>	1	Número de muestra	<b>TM</b>	1	Número total de muestras				<b>A</b>	2579.1	Masa de la muestra [g]	<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	<b>E</b>	8956.4	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?															
<b>M</b>	1	Número de muestra																																						
<b>TM</b>	1	Número total de muestras																																						
<b>A</b>	2579.1	Masa de la muestra [g]																																						
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]																																						
<b>E</b>	8956.4	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]																																						
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?																																						
<p style="text-align: center;"><b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>B</b></td> <td style="width: 10%;"></td> <td>Masa de la bandeja [g]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Mi</b></td> <td></td> <td>Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>CICLO</b></td> <td style="text-align: center;"><b>Masa [g]</b></td> <td style="text-align: center;"><b><math>\Delta</math> [%]</b></td> </tr> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td></td><td></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td></td><td></td></tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>A'</b></td> <td></td> <td>Masa de la muestra con superficie seca [g]</td> </tr> </tbody> </table>					<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]	<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b><math>\Delta</math> [%]</b>	1			2			3			4			5			6			7			8			<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]
<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]																																						
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]																																						
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b><math>\Delta</math> [%]</b>																																						
1																																								
2																																								
3																																								
4																																								
5																																								
6																																								
7																																								
8																																								
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;"><b>Gmm</b></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">2.462</td> <td>Gravedad Específica Máxima Teórica</td> </tr> </tbody> </table>					<b>Gmm</b>	2.462	Gravedad Específica Máxima Teórica																																	
<b>Gmm</b>	2.462	Gravedad Específica Máxima Teórica																																						

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b> <b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>				
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 3 de 3	
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b>	
<b>PROYECTO:</b>	Base asfáltica vía Colibrí - Pifo		<b>FISCALIZA:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Pintag		<b>CONSTRUYE:</b>	HCC
<b>PROVINCIA:</b>	PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b>	Quito	<b>EMISIÓN:</b>
<b>ID MUESTRA:</b>				
<b>MEZCLA:</b>			<b>FECHA ELAB:</b>	2014-03-20
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>				
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b>	N/D	<b>POR:</b>
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	muestra tomada en campo			
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE	
<b>M</b>	1	Número de muestra		
<b>TM</b>	1	Número total de muestras		
<b>A</b>	2644.4	Masa de la muestra [g]		
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]		
<b>E</b>	9002.5	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]		
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?		
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b>				
<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]		
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]		
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]		
<b>Gmm</b>	2.479	Gravedad Específica Máxima Teórica		

Con las hojas de Informe antes presentadas se puede concluir que para las muestras ensayadas el Gmm es:

Tabla. 3.4. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica máxima teórica RICE

MUESTRA	Gmm
Muestra 1	2.471
Muestra 2	2.462
Muestra 3	2.479
Promedio	2.471

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Analizando el promedio obtenido con el valor dado por el diseño de Planta asfáltica El Colibrí, se encuentra que el valor es bastante cercano a la realidad ya que el resultado obtenido en el laboratorio de la muestra de campo solamente difiere en 0.007.

#### 3.1.2.3. *Contenido de asfalto mediante el uso del horno de ignición*

A continuación se presenta las tres hojas del ensayo del horno de ignición.

En el Anexo 5 se adjunta la hoja de resultados que arroja el horno de ignición para las tres muestras.



<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>									
NORMA: AASHTO T308-08				ORDEN:		HOJA		1 de 3	
CLIENTE:						SOLICITA:			
PROYECTO:		Base asfáltica de la vía Colibrí - Pifo				FISCALIZA:			
UBICACIÓN:		Vía Pintag				CONSTRUYE:		HCC	
PROVINCIA:		Pichincha	CANTÓN:		Quito	EMISIÓN:			
ID MUESTRA:									
MEZCLA:						FECHA ELAB:			
ORIGEN MUESTRA:									
MÉTODO:			MUESTREO:			POR:			
CONDICIÓN MUESTRA:									
RECEPCIÓN:			POR:			ENSAYO:			
MÉTODO DE ENSAYO:			B		TIPO DE HORNO:		IRRADIACIÓN IR		
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?					NO		MASA CTE		SI
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			Si fue determinado por AASHTO T 329						
¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?					NO		C <sub>F</sub>		
<b>Mb</b>		3384.97	<i>Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)</i>						
<b>Mti</b>		5918.26	<i>Masa total inicial (balanza externa) (g)</i>						
<b>Mi</b>		2533.29	<i>Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)</i>						
<b>Mth</b>		5922.90	<i>Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)</i>						
<b>Δ M</b>		4.64	<i>Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)</i>						
<b>Mtf</b>		5797.76	<i>Masa total final (balanza externa) (g)</i>						
<b>Mf</b>		2412.79	<i>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</i>						
<b>Pb</b>		4.76	<i>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</i>						
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>					(Aplica en Método A)				
<b>Pb c</b>		4.76	<i>Contenido de ligante corregido (%)</i>						
<b>T</b>		447.00	<i>Temperatura del ensayo (°C)</i>						
<b>COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:</b>									

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>					
NORMA: AASHTO T308-08		ORDEN:		HOJA	2 de 3
CLIENTE:				SOLICITA:	
PROYECTO:	Base asfáltica de la vía Colibrí - Pifo			FISCALIZA:	
UBICACIÓN:	Vía Pintag			CONSTRUYE:	HCC
PROVINCIA:	Pichincha	CANTÓN:	Quito	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:					
MEZCLA:				FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:					
MÉTODO:		MUESTREO:		POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:					
RECEPCIÓN:		POR:		ENSAYO:	
MÉTODO DE ENSAYO:	B	TIPO DE HORNO:		IRRADIACIÓN IR	
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		NO		MASA CTE	SI
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		Si fue determinado por AASHTO T 329			
¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?		NO		C <sub>F</sub>	
<b>Mb</b>	3388.99	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)			
<b>Mti</b>	5433.30	Masa total inicial (balanza externa) (g)			
<b>Mi</b>	2044.31	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)			
<b>Mth</b>	5436.70	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)			
<b>Δ M</b>	3.40	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)			
<b>Mtf</b>	5330.00	Masa total final (balanza externa) (g)			
<b>Mf</b>	1941.01	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)			
<b>Pb</b>	5.05	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)			
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		(Aplica en Método A)			
<b>Pb c</b>	5.05	Contenido de ligante corregido (%)			
<b>T</b>	447.00	Temperatura del ensayo (°C)			
<b>COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:</b>					

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>					
<b>NORMA:</b> AASHTO T308-08		<b>ORDEN:</b>		<b>HOJA</b>	3 de 3
<b>CLIENTE:</b>				<b>SOLICITA:</b>	
<b>PROYECTO:</b>	Base asfáltica de la vía Colibrí - Pifo			<b>FISCALIZA:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>	Vía Pintag			<b>CONSTRUYE:</b>	HCC
<b>PROVINCIA:</b>	Pichincha	<b>CANTÓN:</b>	Quito	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>					
<b>MEZCLA:</b>				<b>FECHA ELAB:</b>	
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>					
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>		<b>POR:</b>	
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>					
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>		<b>ENSAYO:</b>	
<b>MÉTODO DE ENSAYO:</b>		B	<b>TIPO DE HORNO:</b>		IRRADIACIÓN IR
<b>¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?</b>				NO	<b>MASA CTE</b>
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>				Si fue determinado por AASHTO T 329	
<b>¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?</b>				NO	<b>C<sub>F</sub></b>
<b>Mb</b>	3386.67	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)			
<b>Mti</b>	5456.81	Masa total inicial (balanza externa) (g)			
<b>Mi</b>	2070.17	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)			
<b>Mth</b>	5460.60	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)			
<b>Δ M</b>	3.79	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)			
<b>Mtf</b>	5353.84	Masa total final (balanza externa) (g)			
<b>Mf</b>	1967.17	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)			
<b>Pb</b>	4.98	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)			
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>				(Aplica en Método A)	
<b>Pb c</b>	4.98	Contenido de ligante corregido (%)			
<b>T</b>	447.00	Temperatura del ensayo (°C)			
<b>COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:</b>					

Mediante las hojas de ensayo se puede resumir que el contenido de asfalto es:

Tabla. 3.5. Tabla de resumen del resultado del contenido de asfalto

Muestra	Porcentaje de asfalto
No 1	4.76
No 2	5.05
No 3	4.98
Promedio	4.93

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

En el diseño de la planta asfáltica, el porcentaje de asfalto óptimo es del 5.2%, comparando con el porcentaje obtenido en el laboratorio de 4.93% se observa que existe una diferencia de 0.27 %, la misma que representa el 5.19 % de error entre las dos mediciones comparadas.

#### 3.1.2.4. *Gravedad Especifica Bulk*

A continuación se presenta los resultados de las mediciones de las probetas obtenidas, incluido las tres porciones de cada una para obtener los resultados parciales, además de los resultados de gravedad específica Bulk, densidad y porcentaje de agua absorbida.

**ÁREA DE PAVIMENTOS  
INFORME DE ENSAYO  
DIMENSIONES DE NÚCLEOS**

Nombre CP

Identificación del Espécimen	LECTURAS					PROMEDIO
	E/D	1	2	3	4	
CP1	ESPESOR	129.86	129.78	129.88	130.10	129.91
	DIÁMETRO	100.30	100.27	100.28	100.30	100.29
CP2	ESPESOR	129.42	129.53	129.63	129.36	129.49
	DIÁMETRO	100.28	100.26	100.20	100.23	100.24
CP3	ESPESOR	129.16	130.44	130.33	129.28	129.80
	DIÁMETRO	100.29	100.24	100.30	100.27	100.28
CP1S	ESPESOR	41.78	42.67	43.90	42.28	42.66
	DIÁMETRO	100.34	100.39	100.26	100.39	100.35
CP1M	ESPESOR	36.96	36.98	38.13	35.98	37.01
	DIÁMETRO	100.04	100.05	100.35	100.28	100.18
CP1I	ESPESOR	40.80	40.63	41.48	41.91	41.21
	DIÁMETRO	100.30	100.43	100.37	100.32	100.36
CP2S	ESPESOR	39.99	38.79	39.56	39.39	39.43
	DIÁMETRO	100.41	100.30	100.26	100.27	100.31
CP2M	ESPESOR	39.15	39.63	39.69	39.11	39.40
	DIÁMETRO	100.34	100.30	100.41	100.19	100.31
CP2I	ESPESOR	41.61	41.35	43.12	42.55	42.16
	DIÁMETRO	100.28	100.30	99.73	100.26	100.14
CP3S	ESPESOR	43.58	42.80	43.46	44.40	43.56
	DIÁMETRO	100.32	100.28	100.36	100.24	100.30
CP3M	ESPESOR	41.29	39.54	40.23	41.51	40.64
	DIÁMETRO	100.25	100.34	100.25	100.24	100.27
CP3I	ESPESOR	35.64	36.13	37.57	36.76	36.53
	DIÁMETRO	100.35	100.28	100.31	100.25	100.30

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS (HMA)</b> <b>USANDO ESPECÍMENES SSS</b>								
<i>Briqueta</i>	<i>Espesor del espécimen (mm)</i>	<i>Diámetro del espécimen (mm)</i>	<i>Masa seca (gr) A</i>	<i>Masa Sumergida (gr) C</i>	<i>Masa SSS (gr) B</i>	<i>Gravedad Bulk</i>	<i>Densidad</i>	<i>% de agua absorbida</i>
CP1	129.91	100.29	2435.51	1421.09	2436.50	2.399	2391.35	0.10
CP2	129.49	129.49	2425.54	1413.49	2426.04	2.395	2388.29	0.05
CP3	129.80	100.28	2408.53	1399.93	2410.01	2.384	2377.34	0.15
CP1S	42.66	100.35	808.66	471.55	809.08	2.396	2388.63	0.12
CP1M	37.01	100.18	690.17	405.86	690.82	2.422	2414.72	0.23
CP1I	41.21	100.36	753.36	437.16	753.98	2.378	2370.75	0.20
CP2S	39.43	100.31	720.25	414.70	720.53	2.355	2348.00	0.09
CP2M	39.40	100.31	744.03	438.29	744.53	2.430	2422.28	0.16
CP2I	42.16	100.14	775.11	451.96	775.55	2.395	2388.16	0.14
CP3S	43.56	100.30	793.07	457.31	793.67	2.358	2350.73	0.18
CP3M	40.64	100.27	763.59	450.21	764.10	2.433	2425.37	0.16
CP3I	36.53	100.30	666.51	385.79	666.88	2.371	2364.05	0.13

Donde la identificación de cada porción de la probeta se designa de la siguiente manera: S superior, M medio e I inferior.

Se tiene el siguiente cuadro de resumen de la gravedad Bulk de las probetas ensayadas:

Tabla. 3.6. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica BULK

<b>Muestra</b>	<b>Gravedad Bulk</b>
No 1	2.399
No 2	2.395
No 3	2.384
Promedio	2.393

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

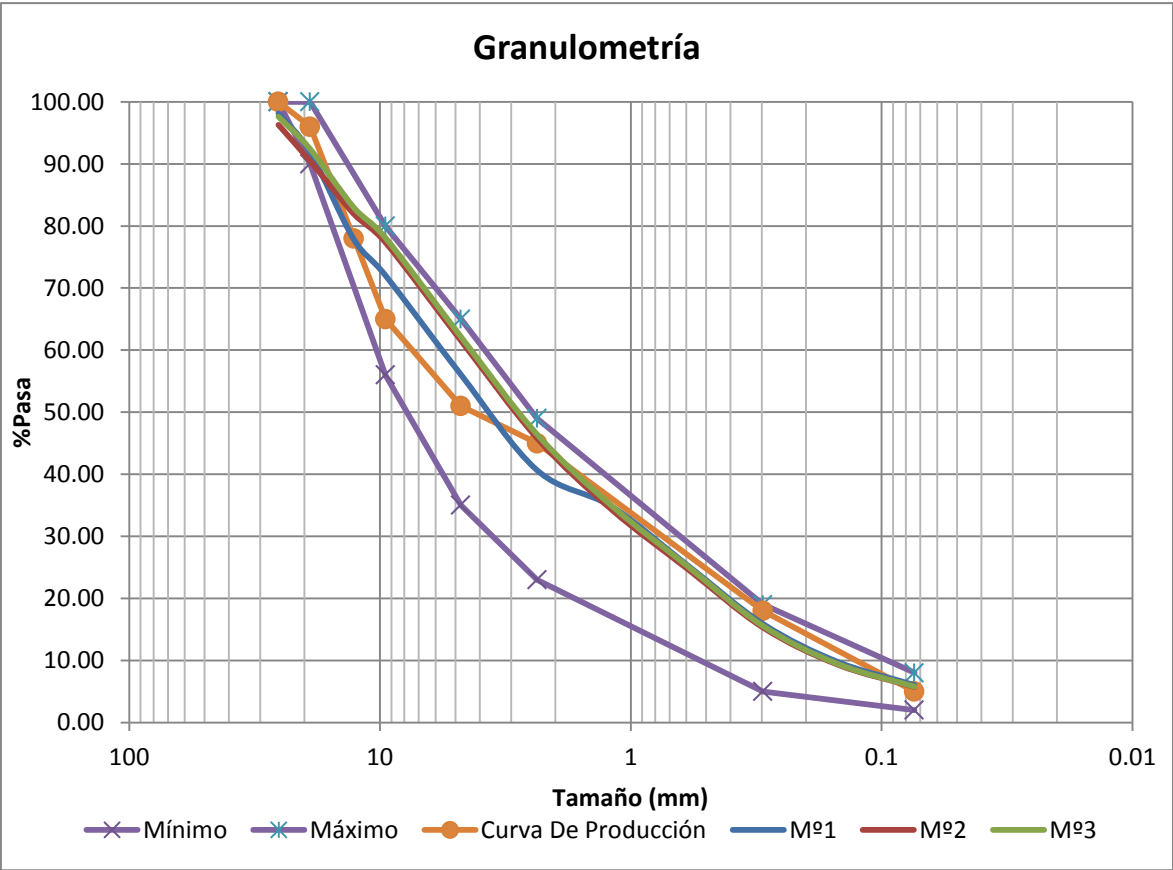
### 3.1.3. MEZCLA 3

#### 3.1.3.1. *Granulometría*

Se presenta a continuación los cuadros de los datos de granulometría para las tres muestras que se obtuvieron a partir del ensayo del horno de ignición, además de la gráfica de las

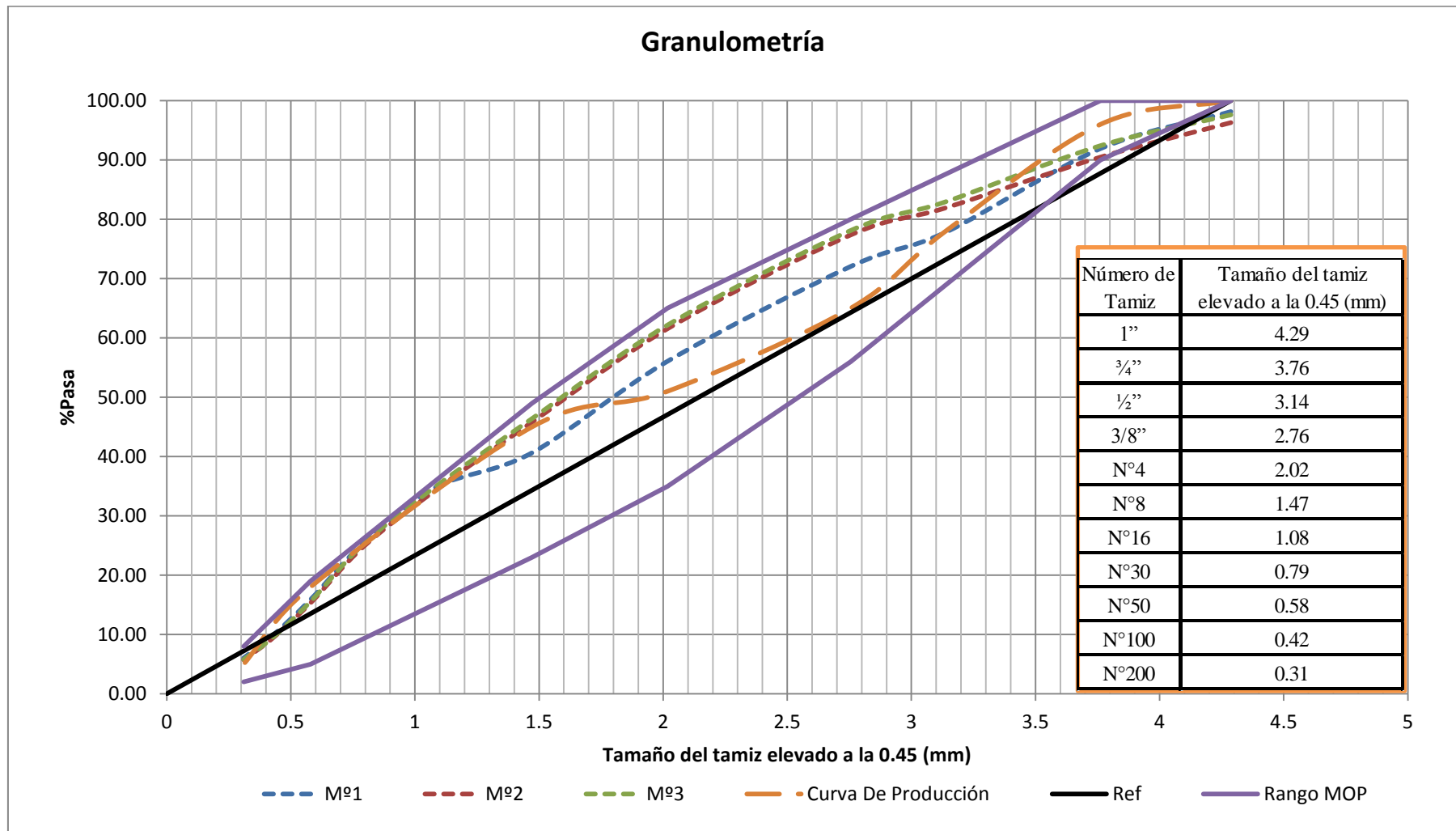
curvas granulométricas de las mismas, la granulometría de la mezcla de diseño de la planta asfáltica y los límites especificados en la norma MOP 001 – F – 2002.

Figura. 3.5. Granulometría mezcla 3 en escala semi - logarítmica



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Figura. 3.6. Granulometría mezcla 3



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Amaguaña	<b>SOLICITADO POR</b>	
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Cristóbal Colón y Federico Suárez	<b>ENSAYADO POR</b>	
<b>MUESTRA N°</b>	1	<b>CALCULADO POR</b>	
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b>	24/04/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01		

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	1969.19
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	34.43	34.43	1.85	98.15
3/4"	19	115.68	150.11	8.09	91.91
1/2"	12.7	261.85	411.96	22.19	77.81
3/8"	9.51	107.23	519.19	27.96	72.04
N°4	4.76	296.46	815.65	43.93	56.07
N°8	2.362	286.52	1102.17	59.36	40.64
N°16	1.19	108.80	1210.97	65.22	34.78
N°30	0.595	174.87	1385.84	74.64	25.36
N°50	0.297	176.02	1561.86	84.12	15.88
N°100	0.149	114.02	1675.88	90.27	9.73
N°200	0.074	68.65	1744.53	93.96	6.04
PASA N°200		112.08	1856.61	100.00	0.00
SUMA		1856.61			
% DE ERROR		5.717			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Amaguaña	<b>SOLICITADO POR</b>
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Cristóbal Colón y Federico	<b>ENSAYADO POR</b>
<b>MUESTRA N°</b>	2	<b>CALCULADO POR</b>
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b> 24/04/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01	

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	1994.19
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	73.89	73.89	3.71	96.29
3/4"	19	115.80	189.69	9.53	90.47
1/2"	12.7	170.22	359.91	18.08	81.92
3/8"	9.51	90.94	450.85	22.65	77.35
N°4	4.76	314.55	765.40	38.45	61.55
N°8	2.362	313.46	1078.86	54.19	45.81
N°16	1.19	229.58	1308.44	65.72	34.28
N°30	0.595	189.34	1497.78	75.23	24.77
N°50	0.297	188.43	1686.21	84.70	15.30
N°100	0.149	119.64	1805.85	90.71	9.29
N°200	0.074	70.85	1876.70	94.27	5.73
PASA N°200		114.16	1990.86	100.00	0.00
SUMA		1990.86			
% DE ERROR		0.167			

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

<b>OBRA</b>	Amaguaña	<b>SOLICITADO POR</b>
<b>LOCALIZACIÓN</b>	Cristóbal Colón y Federico Suárez	<b>ENSAYADO POR</b>
<b>MUESTRA N°</b>	3	<b>CALCULADO POR</b>
<b>ORIGEN Y</b>		<b>APROBADO POR</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>		<b>FECHA:</b> 24/04/2014
<b>NORMA</b>	ASTM C 136-01	

**GRANULOMETRÍA POR MALLAS**

Masa Inicial (gr)	2005.00
-------------------	---------

MALLA N°	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA ACUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)
3"	76.1				
2 1/2"	64				
2"	50.8				
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	47.48	47.48	2.40	97.60
3/4"	19	103.06	150.54	7.60	92.40
1/2"	12.7	187.37	337.91	17.05	82.95
3/8"	9.51	96.07	433.98	21.90	78.10
N°4	4.76	315.60	749.58	37.83	62.17
N°8	2.362	312.42	1062.00	53.60	46.40
N°16	1.19	228.16	1290.16	65.11	34.89
N°30	0.595	191.75	1481.91	74.79	25.21
N°50	0.297	191.68	1673.59	84.46	15.54
N°100	0.149	121.60	1795.19	90.60	9.40
N°200	0.074	71.67	1866.86	94.21	5.79
PASA N°200		114.63	1981.49	100.00	0.00
SUMA		1981.49			
% DE ERROR		1.173			

### 3.1.3.2. Rice

A continuación se presenta las hojas de resumen de las tres muestras ensayadas en laboratorio.

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b>			
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b>			
<b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>			
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 3
<b>CLIENTE:</b>	EQFALTO		<b>SOLICITA:</b>
<b>PROYECTO:</b>	Amaguaña		<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Cristóbal Colón y Federico Suárez		<b>CONSTRUYE:</b> EQFALTO
<b>PROVINCIA:</b>	PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b>	Rumiñahui
<b>EMISIÓN:</b>			
<b>ID MUESTRA:</b>			
<b>MEZCLA:</b>		<b>FECHA ELAB:</b>	2014-04-23
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>			
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>	<b>POR:</b>
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>			
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>	A. Paillacho.
		<b>ENSAYO:</b>	2014-04-24
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
<b>M</b>	1	Número de muestra	
<b>TM</b>	3	Número total de muestras	
<b>A</b>	2661.0	Masa de la muestra [g]	
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	
<b>E</b>	8972.1	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b>			
<b>B</b>	876	Masa de la bandeja [g]	
<b>Mi</b>	3227	Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>	
1	3173	1.67	
2	3143	0.95	
3	3119	0.76	
4	3106	0.42	
5	3103	0.10	
6	3102	0.03	Superficie seca
7			
8			
<b>A'</b>	2227.0	Masa de la muestra con superficie seca [g]	
<b>Gmm</b>	2.389	Gravedad Específica Máxima Teórica	

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b> <b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>			
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 2 de 3
<b>CLIENTE:</b>	EQFALTO		<b>SOLICITA:</b>
<b>PROYECTO:</b>	Amaguaña		<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Cristóbal Colón y Federico Suárez		<b>CONSTRUYE:</b> EQFALTO
<b>PROVINCIA:</b> PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b> Rumiñahui	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>			
<b>MEZCLA:</b>		<b>FECHA ELAB:</b>	2014-04-23
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>			
<b>MÉTODO:</b>		<b>MUESTREO:</b>	<b>POR:</b>
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>			
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b> 2014-04-24
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b> METÁLICO			
<b>PROCEDIMIENTO:</b>		DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE	
<b>M</b>	2	Número de muestra	
<b>TM</b>	3	Número total de muestras	
<b>A</b>	2642.3	Masa de la muestra [g]	
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	
<b>E</b>	8963.5	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b>			
<b>B</b>	876	Masa de la bandeja [g]	
<b>Mi</b>	3227	Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>	
1	3173	1.67	
2	3143	0.95	
3	3119	0.76	
4	3106	0.42	
5	3103	0.10	
6	3102	0.03	Superficie seca
7			
8			
<b>A'</b>	2227.0	Masa de la muestra con superficie seca [g]	
<b>Gmm</b>	2.394	Gravedad Específica Máxima Teórica	

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD</b> <b>DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b>			
<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 3 de 3
<b>CLIENTE:</b>	EQFALTO		<b>SOLICITA:</b>
<b>PROYECTO:</b>	Amaguaña		<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	Cristóbal Colón y Federico Suárez		<b>CONSTRUYE:</b> EQFALTO
<b>PROVINCIA:</b> PICHINCHA	<b>CANTÓN:</b> Rumiñahui	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>			
<b>MEZCLA:</b>		<b>FECHA ELAB:</b>	2014-04-23
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>			
<b>MÉTODO:</b>	<b>MUESTREO:</b>	<b>POR:</b>	
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>			
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b>	<b>ENSAYO:</b>	2014-04-24
<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
<b>M</b>	3	Número de muestra	
<b>TM</b>	3	Número total de muestras	
<b>A</b>	2624.9	Masa de la muestra [g]	
<b>D</b>	7424.9	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]	
<b>E</b>	8953.7	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]	
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?	
<b>PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)</b>			
<b>B</b>	876	Masa de la bandeja [g]	
<b>Mi</b>	3227	Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]	
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>	
1	3173	1.67	
2	3143	0.95	
3	3119	0.76	
4	3106	0.42	
5	3103	0.10	
6	3102	0.03	Superficie seca
7			
8			
<b>A'</b>	2227.0	Masa de la muestra con superficie seca [g]	
<b>Gmm</b>	2.395	Gravedad Específica Máxima Teórica	

Con las hojas de Informe antes presentadas se puede concluir que para las muestras ensayadas el Gmm es:

Tabla. 3.6. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica máxima teórica RICE

MUESTRA	Gmm
Muestra 1	2.389
Muestra 2	2.394
Muestra 3	2.395
Promedio	2.393

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Analizando el promedio obtenido con el valor dado por el diseño de Planta asfáltica Llano Chico, se encuentra que el valor difiere con 0.133 en valor absoluto, dando un error del 5.88%.

#### 3.1.3.3. *Contenido de asfalto mediante el uso del horno de ignición*

A continuación se presenta las tres hojas del ensayo del horno de ignición.

En el Anexo 6 se adjunta la hoja de resultados que arroja el horno de ignición para las tres muestras.

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>							
NORMA: AASHTO T308-08			ORDEN:		HOJA		1 de 3
CLIENTE:	EQFALTO			SOLICITA:			
PROYECTO:	Amaguaña			FISCALIZA:			
UBICACIÓN:	Cristóbal Colón y Federico Suárez			CONSTRUYE:	EQFALTO		
PROVINCIA:	Pichincha	CANTÓN:	Rumiñahui	EMISIÓN:			
ID MUESTRA:							
MEZCLA:				FECHA ELAB:	23/04/2014		
ORIGEN MUESTRA:							
MÉTODO:		MUESTREO:		POR:			
CONDICIÓN MUESTRA:							
RECEPCIÓN:		POR:		ENSAYO:			
MÉTODO DE ENSAYO:	B		TIPO DE HORNO:		IRRADIACIÓN IR		
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?				NO	MASA CTE	SI	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		Si fue determinado por AASHTO T 329					
¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?				NO	C <sub>F</sub>		
<b>Mb</b>	3386.63	<i>Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)</i>					
<b>Mti</b>	5470.43	<i>Masa total inicial (balanza externa) (g)</i>					
<b>Mi</b>	2083.80	<i>Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)</i>					
<b>Mth</b>	5474.70	<i>Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)</i>					
<b>Δ M</b>	4.27	<i>Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)</i>					
<b>Mtf</b>	5350.01	<i>Masa total final (balanza externa) (g)</i>					
<b>Mf</b>	1963.38	<i>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</i>					
<b>Pb</b>	5.95	<i>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</i>					
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>				(Aplica en Método A)			
<b>Pb c</b>	5.95	<i>Contenido de ligante corregido (%)</i>					
<b>T</b>	447.00	<i>Temperatura del ensayo (°C)</i>					



<p align="center"><b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b></p> <p align="center"><b>INFORME DE ENSAYO</b></p> <p align="center"><b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b></p> <p align="center"><b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b></p>					
NORMA: AASHTO T308-08		ORDEN:		HOJA	2 de 3
CLIENTE:	EQFALTO			SOLICITA:	
PROYECTO:	Amaguaña			FISCALIZA:	
UBICACIÓN:	Cristóbal Colón y Federico Suárez			CONSTRUYE:	EQFALTO
PROVINCIA:	Pichincha	CANTÓN:	Rumiñahui	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:					
MEZCLA:				FECHA ELAB:	23/04/2014
ORIGEN MUESTRA:					
MÉTODO:		MUESTREO:		POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:					
RECEPCIÓN:		POR:		ENSAYO:	
MÉTODO DE ENSAYO:	B	TIPO DE HORNO:		IRRADIACIÓN IR	
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		NO	MASA CTE	SI	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		Si fue determinado por AASHTO T 329			
¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?		NO	C <sub>F</sub>		
<b>Mb</b>	3384.58	Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)			
<b>Mti</b>	5508.51	Masa total inicial (balanza externa) (g)			
<b>Mi</b>	2123.93	Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)			
<b>Mth</b>	5512.30	Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)			
<b>Δ M</b>	3.79	Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)			
<b>Mtf</b>	5379.87	Masa total final (balanza externa) (g)			
<b>Mf</b>	1995.29	Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)			
<b>Pb</b>	6.19	Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)			
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		(Aplica en Método A)			
<b>Pb c</b>	6.19	Contenido de ligante corregido (%)			
<b>T</b>	447.00	Temperatura del ensayo (°C)			

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</b> <b>POR EL MÉTODO DE IGNICIÓN</b>					
NORMA: AASHTO T308-08		ORDEN:		HOJA	3 de 3
CLIENTE:	EQFALTO		SOLICITA:		
PROYECTO:	Amaguaña		FISCALIZA:		
UBICACIÓN:	Cristóbal Colón y Federico Suárez		CONSTRUYE:	EQFALTO	
PROVINCIA:	Pichincha	CANTÓN:	Rumiñahui	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:					
MEZCLA:			FECHA ELAB:	23/04/2014	
ORIGEN MUESTRA:					
MÉTODO:		MUESTREO:		POR:	
CONDICIÓN MUESTRA:					
RECEPCIÓN:		POR:		ENSAYO:	
MÉTODO DE ENSAYO:	B	TIPO DE HORNO:		IRRADIACIÓN IR	
¿SE DETERMINÓ CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MUESTRA?		NO	MASA CTE	SI	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		Si fue determinado por AASHTO T 329			
¿SE DETERMINÓ CORRECCIÓN DE LIGANTE ASFÁLTICO?		NO	C <sub>F</sub>		
<b>Mb</b>	3386.50	<i>Masa de conjunto bandeja (balanza externa) (g)</i>			
<b>Mti</b>	5526.32	<i>Masa total inicial (balanza externa) (g)</i>			
<b>Mi</b>	2139.82	<i>Masa de muestra inicial (Mti-Mb) (g)</i>			
<b>Mth</b>	5529.10	<i>Masa total (balanza horno) (g) (Aplica en Método A)</i>			
<b>Δ M</b>	2.78	<i>Comprobar si esta dentro de ±5g (Aplica en Método A)</i>			
<b>Mtf</b>	5394.17	<i>Masa total final (balanza externa) (g)</i>			
<b>Mf</b>	2007.67	<i>Masa de muestra final (Mtf-Mb) (g)</i>			
<b>Pb</b>	6.24	<i>Porcentaje de pérdida (valor del ticket) (%)</i>			
<b>¿CORRECCIÓN INCLUIDA EN EL TICKET?</b>		(Aplica en Método A)			
<b>Pb c</b>	6.24	<i>Contenido de ligante corregido (%)</i>			
<b>T</b>	447.00	<i>Temperatura del ensayo (°C)</i>			

Mediante las hojas de ensayo se puede resumir que el contenido de asfalto es:

Tabla. 3.7. Tabla de resumen del resultado del contenido de asfalto

Muestra	Porcentaje de asfalto
No 1	5.95
No 2	6.19
No 3	6.24
Promedio	6.13

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

En el diseño de la planta asfáltica, el porcentaje de asfalto óptimo es del 6.2%, comparando con el porcentaje obtenido en el laboratorio de 6.13% se observa que existe una diferencia de 0.07 %, la misma que representa el 1.13 % de error entre las dos mediciones comparadas.

#### 3.1.3.4. *Gravedad Especifica Bulk*

A continuación se presenta los resultados de las mediciones de las probetas obtenidas, incluido las tres porciones de cada una para obtener los resultados parciales, además de los resultados de gravedad específica Bulk, densidad y porcentaje de agua absorbida.

**ÁREA DE PAVIMENTOS  
INFORME DE ENSAYO  
DIMENSIONES DE NÚCLEOS**

Nombre            A

Identificación del Espécimen	LECTURAS					PROMEDIO
	E/D	1	2	3	4	
A1	ESPESOR	139.09	139.15	139.05	139.02	139.08
	DIÁMETRO	100.37	100.33	100.30	100.29	100.32
A2	ESPESOR	139.08	138.41	138.39	138.02	138.48
	DIÁMETRO	100.35	100.40	100.35	100.33	100.36
A3	ESPESOR	137.00	136.82	137.16	137.01	137.00
	DIÁMETRO	100.34	100.35	100.33	100.34	100.34
A1S	ESPESOR	42.90	42.12	41.98	42.00	42.25
	DIÁMETRO	100.50	100.55	100.43	100.50	100.50
A1M	ESPESOR	41.46	42.33	43.11	42.54	42.36
	DIÁMETRO	100.47	100.48	100.42	100.41	100.45
A1I	ESPESOR	45.73	46.02	46.05	45.93	45.93
	DIÁMETRO	100.45	100.45	100.40	100.50	100.45
A2S	ESPESOR	41.50	41.74	41.82	41.65	41.68
	DIÁMETRO	100.50	100.44	100.39	100.44	100.44
A2M	ESPESOR	37.72	36.63	37.16	36.80	37.08
	DIÁMETRO	100.30	100.42	100.48	100.50	100.43
A2I	ESPESOR	49.40	49.30	50.57	50.81	50.02
	DIÁMETRO	100.40	100.50	100.36	100.37	100.41
A3S	ESPESOR	40.10	40.36	40.83	40.66	40.49
	DIÁMETRO	100.48	100.45	100.40	100.46	100.45
A3M	ESPESOR	42.27	42.13	43.66	43.62	42.92
	DIÁMETRO	100.42	100.45	100.48	100.57	100.48
A3I	ESPESOR	44.80	46.54	44.38	44.02	44.94
	DIÁMETRO	100.49	100.48	100.54	100.43	100.49

<b>ÁREA DE PAVIMENTOS</b> <b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS (HMA)</b> <b>USANDO ESPECÍMENES SSS</b>								
<i>Briqueta</i>	<i>Espesor del espécimen (mm)</i>	<i>Diámetro del espécimen (mm)</i>	<i>Masa seca (gr) A</i>	<i>Masa Sumergida (gr) C</i>	<i>Masa SSS (gr) B</i>	<i>Gravedad Bulk</i>	<i>Densidad</i>	<i>% de agua absorbida</i>
A1	139.08	100.32	2447.96	1362.68	2451.03	2.249	2242.49	0.28
A2	138.48	138.48	2416.93	1343.08	2420.43	2.243	2236.67	0.32
A3	137.00	100.34	2408.84	1336.63	2410.47	2.243	2236.47	0.15
A1S	42.25	100.50	720.68	392.67	721.14	2.194	2187.47	0.14
A1M	42.36	100.45	756.91	414.70	757.28	2.209	2202.81	0.11
A1I	45.93	100.45	803.44	445.62	804.00	2.242	2235.14	0.16
A2S	41.68	100.44	721.42	394.23	721.72	2.203	2196.27	0.09
A2M	37.08	100.43	662.43	370.60	662.79	2.267	2260.32	0.12
A2I	50.02	100.41	862.23	475.23	863.13	2.223	2216.15	0.23
A3S	40.49	100.45	694.79	377.45	695.00	2.188	2181.41	0.07
A3M	42.92	100.48	765.37	428.02	765.73	2.266	2259.55	0.11
A3I	44.94	100.49	779.37	430.00	780.12	2.226	2219.33	0.21

Donde la identificación de cada porción de la probeta se designa de la siguiente manera: S superior, M medio e I inferior.

Se tiene el siguiente cuadro de resumen de la gravedad Bulk de las probetas ensayadas:

Tabla. 3.9. Tabla de resumen del resultado de la gravedad específica BULK

<b>Muestra</b>	<b>Gravedad Bulk</b>
No 1	2.249
No 2	2.243
No 3	2.243
Promedio	2.250

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Analizando el promedio de la gravedad Bulk de 2.250 con respecto al valor de diseño de la planta, se tiene una diferencia de 0.09 en valor absoluto y resulta en un error de 4.17%.

## 3.2. Módulo Dinámico

### 3.2.1. Tabulación de datos

De los datos obtenidos por medio del programa del ensayo de módulo dinámico TP-62 Dynamic Modulus Cooper Technology, se utiliza únicamente el promedio de las últimas

cinco lecturas para cada una de las combinaciones de frecuencias y temperatura que se realizaron, que se presentan resumidas en la tabla a continuación. Para cada una de las muestras:

Tabla. 3.10. Módulos dinámicos para la Muestra 1: PCV

Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Módulo Dinámico E (MPa)		
		Muestra T1	Muestra T2	Muestra T3
-10	25	9877.807	13730.735	10866.700
	10	9873.553	13822.544	11042.932
	5	9431.986	13343.719	10668.831
	1	8368.397	12109.222	9406.998
	0.5	7917.490	11398.150	8993.665
	0.1	6812.806	9866.836	7851.359
4	25	8602.517	12164.288	8540.923
	10	8218.635	11671.064	8439.394
	5	7665.868	10990.874	7985.623
	1	6339.379	9462.226	6867.112
	0.5	5763.685	8599.471	6425.693
	0.1	4518.225	7033.064	5389.059
21	25	4730.934	6886.255	5228.452
	10	4133.045	6043.641	4725.353
	5	3692.281	5463.834	4227.529
	1	2731.286	4134.977	3165.641
	0.5	2371.680	3562.063	2764.371
	0.1	1626.326	2494.322	1970.955
37	25	2144.380	3335.734	2449.889
	10	1698.035	2789.777	1998.868
	5	1433.379	2308.912	1678.972
	1	950.832	1522.798	1132.176
	0.5	783.130	1272.223	943.348
	0.1	526.018	807.119	631.933
54	25	812.190	1374.717	1151.588
	10	715.012	1184.966	964.778
	5	606.341	1065.056	827.995
	1	453.423	736.197	628.923
	0.5	390.015	598.596	576.527
	0.1	349.632	407.516	468.750

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Tabla. 3.11. Módulos dinámicos para la Muestra 2: HCC

Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Módulo Dinámico E (Mpa)		
		Muestra CP1	Muestra CP2	Muestra CP3
-10	25	12630.479	18612.135	11071.501
	10	12850.352	18355.236	10868.191
	5	12350.422	17522.979	10443.653
	1	11152.935	15914.994	9100.202
	0.5	10584.457	15286.195	8483.177
	0.1	9374.860	13201.429	7081.502
4	25	8319.982	12018.333	9653.761
	10	7807.041	11034.351	9286.496
	5	7137.872	10162.125	8543.903
	1	5828.438	8341.343	7148.708
	0.5	5255.896	7476.380	6557.833
	0.1	4019.956	5715.651	5198.733
21	25	4990.850	6178.251	4398.590
	10	4232.615	5230.809	3808.598
	5	3681.550	4559.242	3302.910
	1	2586.949	3192.712	2315.160
	0.5	2207.346	2699.989	1933.092
	0.1	1453.432	1766.689	1280.505
37	25	1858.047	2201.771	1771.280
	10	1432.312	1711.570	1362.244
	5	1142.330	1360.352	1097.553
	1	744.956	850.915	705.855
	0.5	598.793	707.988	576.217
	0.1	403.910	456.130	395.258
54	25	616.555	857.006	634.622
	10	438.016	635.659	468.780
	5	345.469	501.475	380.682
	1	218.723	298.098	252.565
	0.5	184.573	251.851	213.303
	0.1	141.622	186.719	164.331

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Tabla. 8.12. Módulos dinámicos para la Muestra 3: EQFALTO

Temperatura (°C)	Frecuencia (Hz)	Módulo Dinámico E (Mpa)		
		Muestra A1	Muestra A2	Muestra A3
-10	25	12342.299	14393.229	8192.700
	10	12059.386	14078.081	8275.546
	5	11295.329	13489.506	8059.150
	1	9919.672	11745.651	6982.266
	0.5	9271.097	11118.143	6518.648
	0.1	7472.356	9059.115	5358.506
4	25	7938.814	9829.132	6792.435
	10	7271.948	9220.927	6593.646
	5	6538.505	8393.888	6129.483
	1	5041.711	6840.796	5025.829
	0.5	4426.635	6127.094	4615.603
	0.1	3160.732	4531.762	3634.938
21	25	4261.551	5395.530	3710.594
	10	3549.270	4541.851	3176.523
	5	3045.798	3941.667	2745.516
	1	2116.014	2762.368	1921.391
	0.5	1809.266	2363.982	1631.151
	0.1	1174.996	1530.222	1132.441
37	25	1518.970	2302.628	1357.784
	10	1181.025	1771.478	989.613
	5	954.375	1437.460	809.133
	1	639.729	933.799	539.995
	0.5	542.541	793.621	464.220
	0.1	384.088	536.449	317.160
54	25	478.409	796.501	372.979
	10	348.482	598.401	320.880
	5	276.732	505.812	217.660
	1	186.315	319.268	150.943
	0.5	158.405	261.866	145.053
	0.1	115.241	181.625	117.145

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega



A continuación se presentan las fotografías de las muestras que fueron ensayadas para cada tipo de mezcla:

Fotografía. 16.1. Fotografía de las probetas de la mezcla 1 (T)



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Fotografía. 17.2. Fotografía de las probetas de la mezcla 2 (CP)



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

Fotografía. 18.3 Fotografía de las probetas de la mezcla 3 (EQFALTO)



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

### 3.2.2. Generación del programa en Excel para la función sigmoïdal

A continuación se explicará la metodología utilizada para la generación de la curva maestra de módulo dinámico para cualquier mezcla asfáltica en caliente.

✓ Paso 1:

Utilizando los datos detallados en la sección 3.2.1, se realiza un gráfico que relaciona el módulo obtenido respecto a cada temperatura, teniendo así seis curvas para cada frecuencia de carga ensayada.

✓ Paso 2:

Se crea una tabla en la cual se colocan los valores de manera ordenada, la misma que tendrá los siguientes componentes:

- Temperatura en °C: las cinco temperaturas que se les sometió a las muestras, las mismas que son -10, 4, 21, 37 y 54°C.
- Frecuencia en Hz: para cada temperatura se colocan las seis frecuencias de carga dinámica aplicada, las mismas que se encuentran en la tabla 2.5 Número de ciclos por cada frecuencia.

- Módulo dinámico E en Mpa: obtenido a partir de los resultados del ensayo.
- Logaritmo de la frecuencia  $\log(f)$ : calculado a partir del logaritmo en base 10 de la frecuencia de ensayo.
- Logaritmo de la frecuencia reducida: haciendo uso de la ecuación 1.7. se obtiene este valor.
- Log E\* medido: este valor se encuentra mediante el logaritmo en base 10 del módulo dinámico obtenido como resultado del ensayo.
- Log E\* predicho: se obtiene a partir de la fórmula sigmoideal descrita mediante la ecuación 1.6 del presente documento.
- Errores Cuadrados: es el cuadrado del error absoluto entre el Log E\* predicho y el Log E\* medido.
- E\* predicho.

En el Anexo 7 de la presente disertación se encuentra un ejemplo de la tabla antes mencionada.

✓ Paso 3:

Para poder completar la tabla se deben ingresar valores iniciales de tanteo de las variables que serán modificadas para obtener el mejor ajuste de la curva maestra. Los cuales son:  $\delta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y los diferentes valores de Shift Factor  $\log [a(T)]$ , correspondiente para cada una de las temperaturas de ensayo. Se toma de referencia la temperatura de 21 °C en el que el logaritmo del Shift factor es igual a cero.

Ya que estos valores deben trabajar en conjunto para producir el menor error posible, se debe utilizar la función SOLVER de EXCEL, realizando de esta manera las iteraciones adecuadas y ajustando estos valores para que la suma de la diferencia al cuadrado entre los módulos predichos con la función sigmoideal y los módulos medidos sea la mínima posible.

✓ Paso 4:

Una vez encontrados los valores de corrección, se logra obtener los valores de módulos predichos y logaritmo de frecuencia reducida, con los cuales se generará los siguientes gráficos:

- Temperatura versus logaritmo del Shift Factor, la cual se puede evidenciar en la Figura 1.6.
- Logaritmo de frecuencia reducida versus el logaritmo de  $E^*$  predicho y del  $E^*$  medido.

Con lo que se obtiene finalmente la curva maestra del módulo dinámico, la misma que servirá para ser ingresada en el programa Mecánico – Empírico, desarrollado por la AASHTO.

### **3.2.3. Generación de la curva maestra**

En los gráficos mostrados a continuación se encuentran los datos de las variables que fueron iteradas, como también los gráficos señalados en el Paso 4, de la sección 3.2.2 del presente documento.

#### **3.2.3.1. Mezcla 1**

Figura. 3.7. Curva maestra de la muestra T1

<b>Diámetro espécimen (mm)</b>	100.3	<b>log [a(T)]</b>	<b>T</b>
$\delta$	2.2714218	3.3989933	-10
$\beta$	-0.5970093	2.1334515	4
$\alpha$	1.7965879	0	21
$\gamma$	0.54539124	-1.8982586	37
		-3.4956259	54

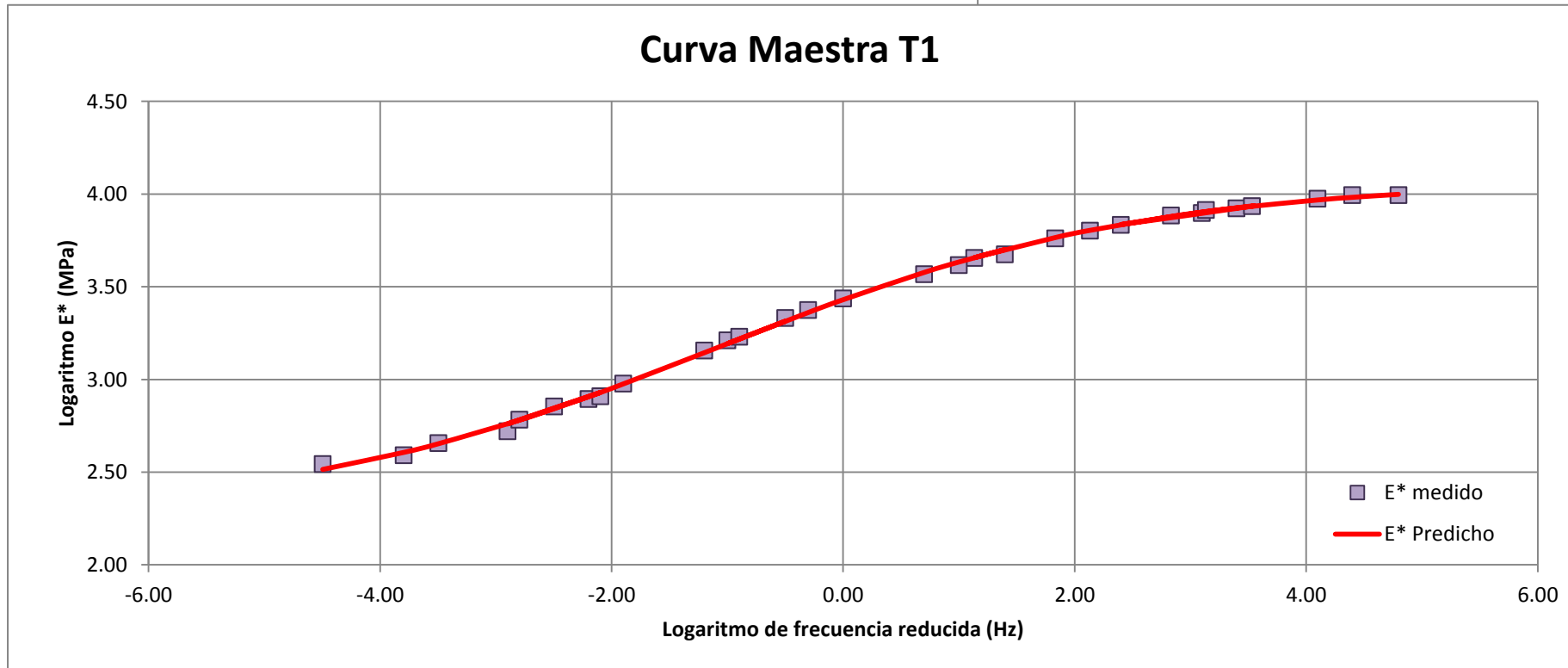
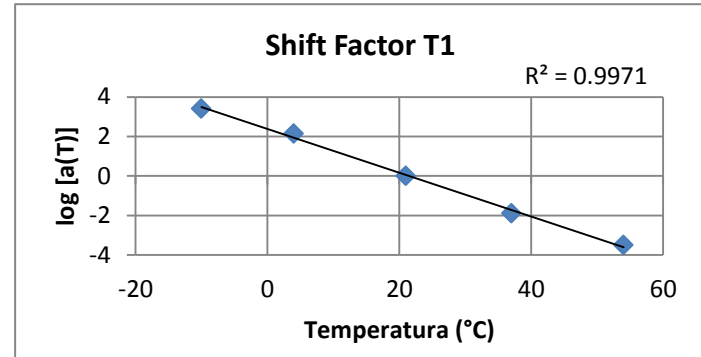


Figura. 3.8. Curva maestra de la muestra T2

Diámetro espécimen (mm)	100.3	$\log [a(T)]$	T
$\delta$	1.99434982	3.6521569	-10
$\beta$	-0.9434417	2.392395	4
$\alpha$	2.24426874	0	21
$\gamma$	0.44450679	-1.8513489	37
		-3.2647538	54

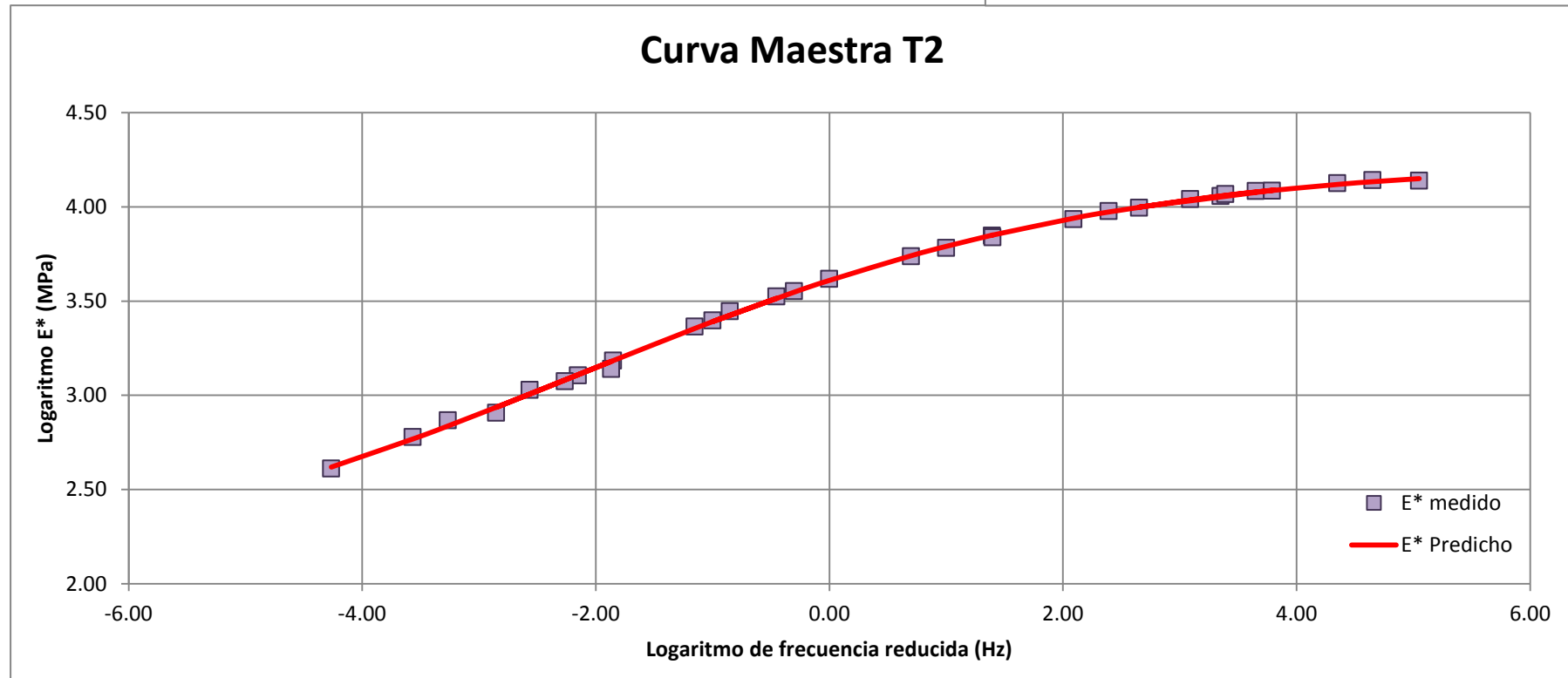
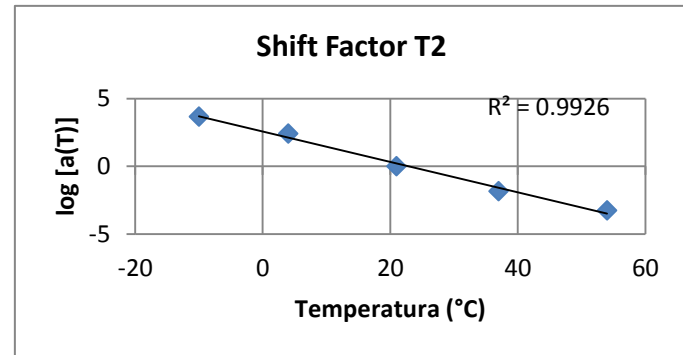


Figura. 3.9. Curva maestra de la muestra T3

<b>Diámetro espécimen (mm)</b>	100.3	<b>log [a(T)]</b>	<b>T</b>
		3.9278464	-10
$\delta$	2.35895753	2.1942106	4
$\beta$	-0.6704723	0	21
$\alpha$	1.72096548	-2.0025477	37
$\gamma$	0.52889499	-3.3052251	54

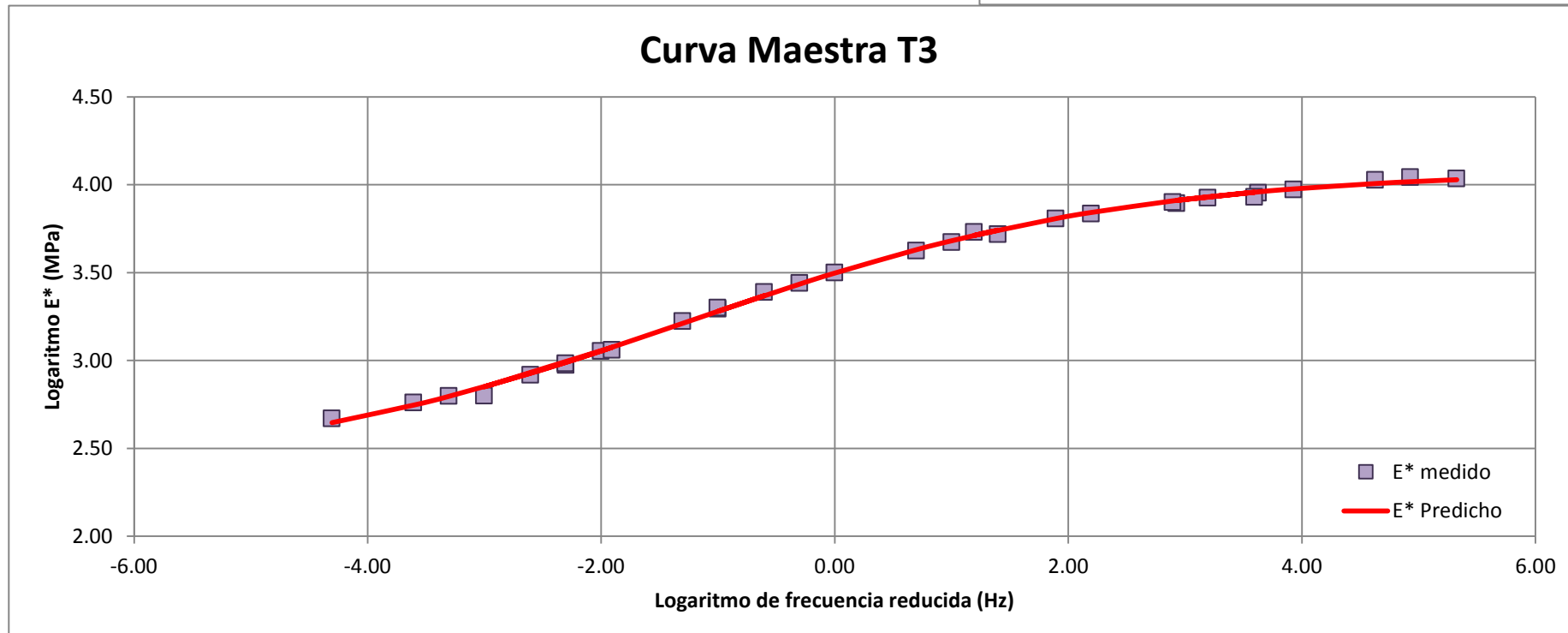
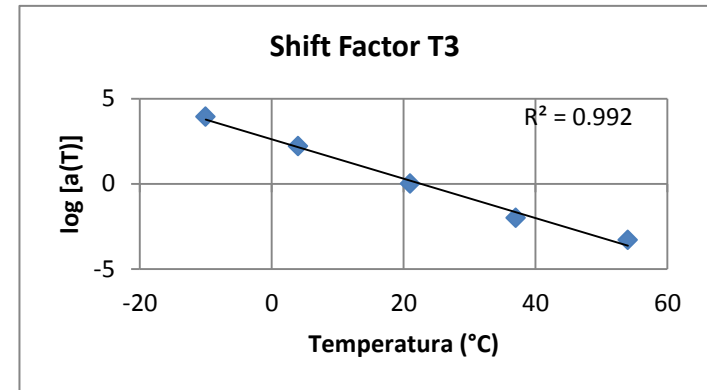
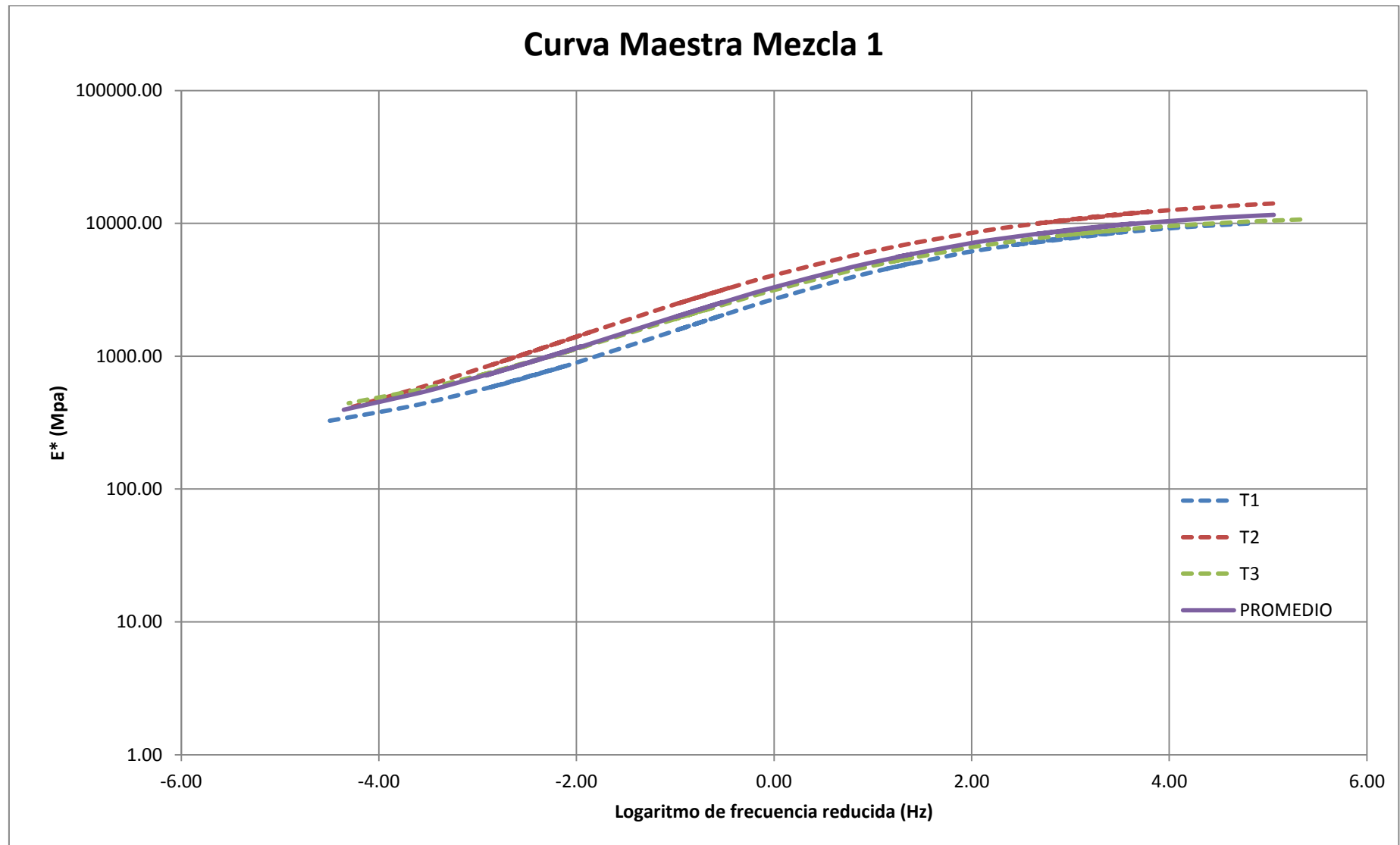


Figura. 3.10. Curva maestra Mezcla 1





### 3.2.3.2. Mezcla 2

Figura. 3.11. Curva maestra de la muestra CP1

Diámetro espécimen (mm)	100.3	$\log [a(T)]$	T
$\delta$	1.42145447	4.7351413	-10
$\beta$	-0.9487105	1.8331952	4
$\alpha$	2.7656084	0	21
$\gamma$	0.41846861	-2.0251707	37
		-3.838608	54

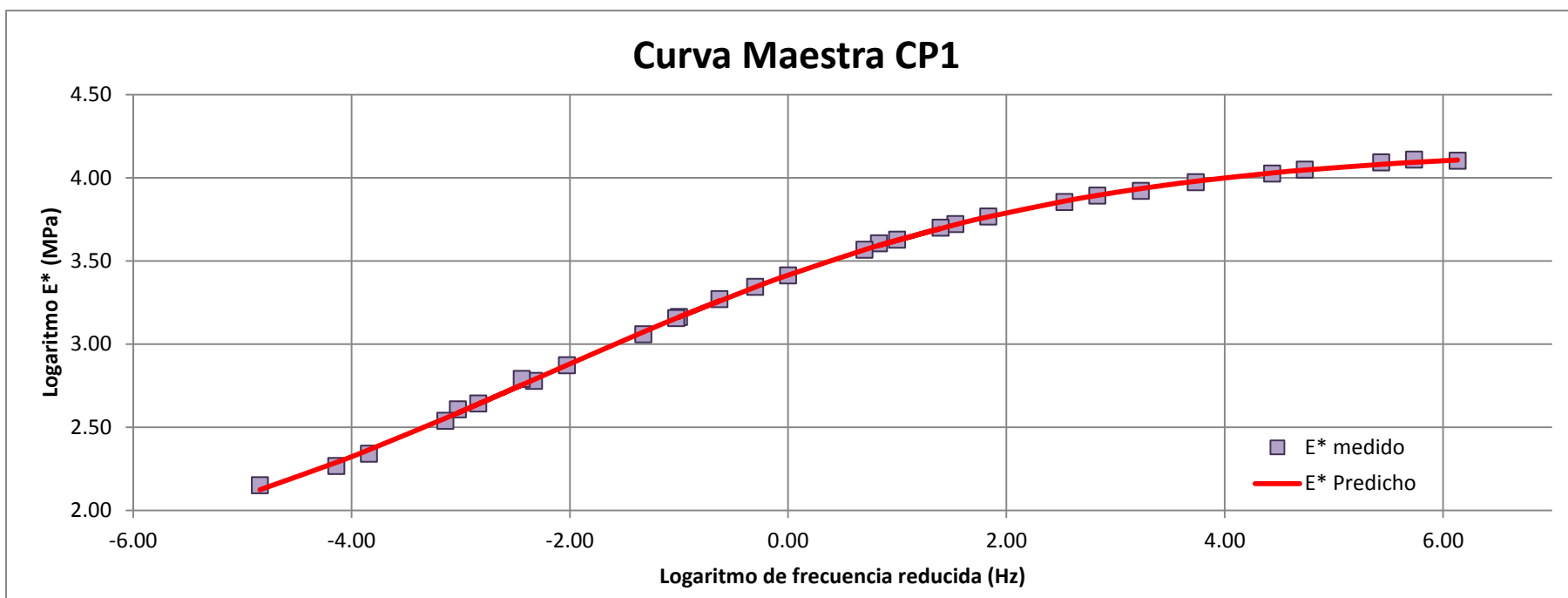
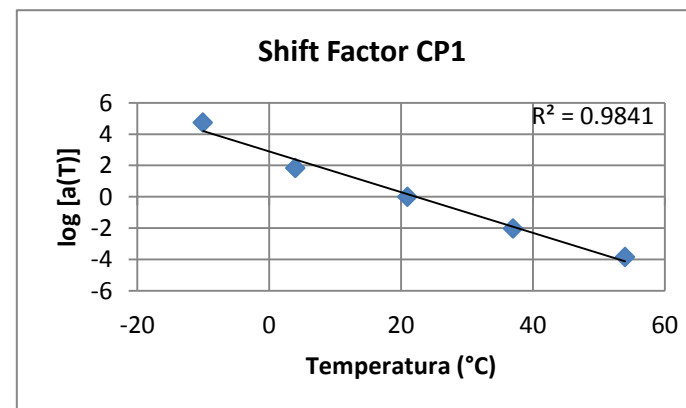


Figura. 3.12. Curva maestra de la muestra CP2

Diámetro espécimen (mm)	100.3	$\log [a(T)]$	T
$\delta$	1.34585895	4.9921321	-10
$\beta$	-0.9160452	2.142553	4
$\alpha$	3.01961673	0	21
$\gamma$	0.38946959	-2.0611635	37
		-3.5633139	54

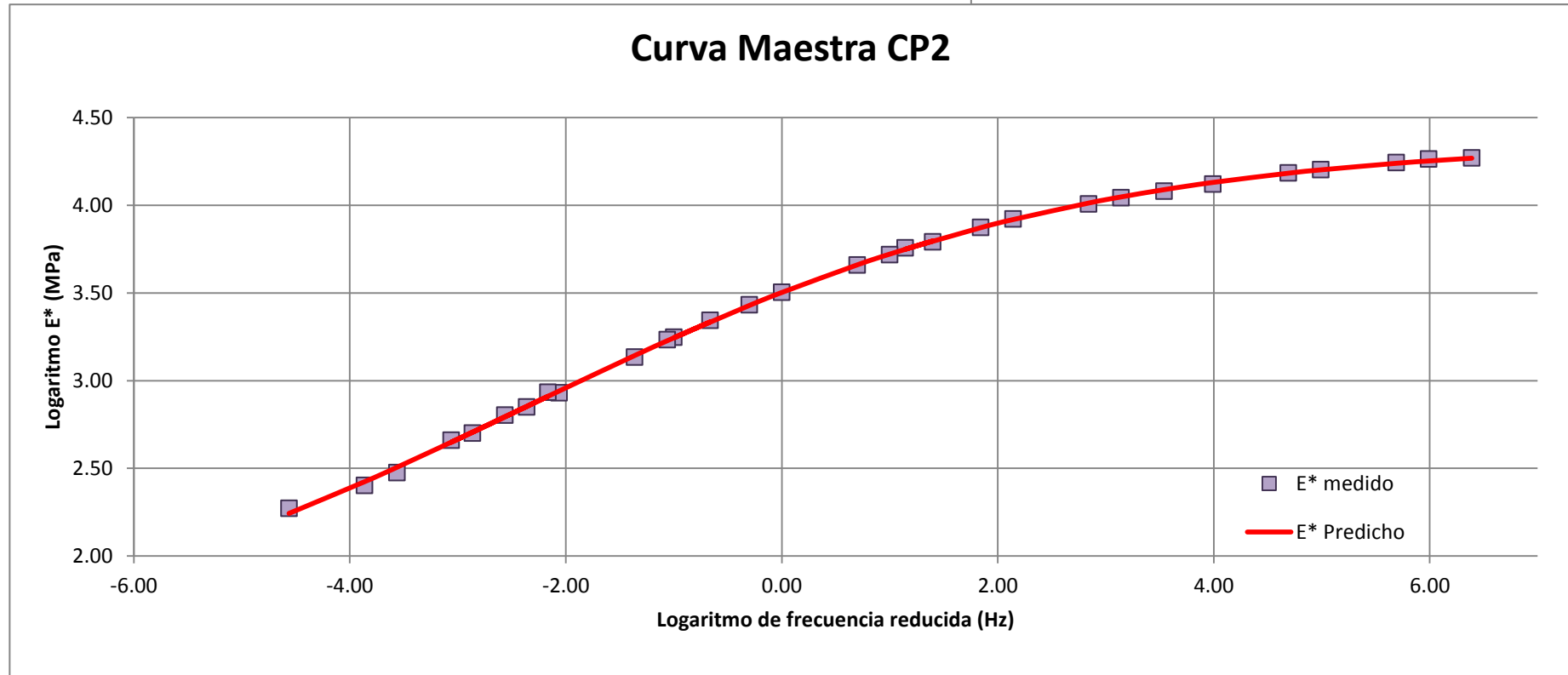
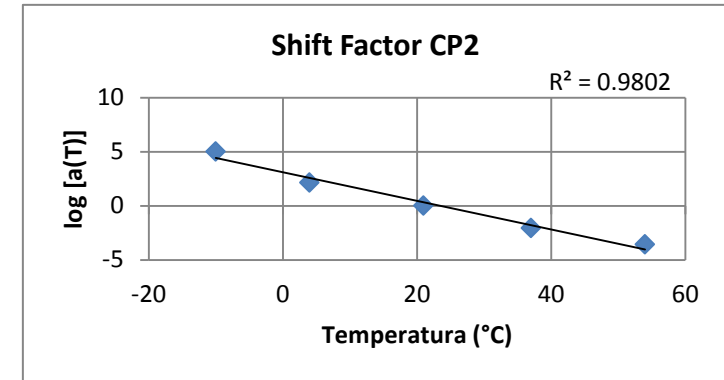


Figura. 3.13. Curva maestra de la muestra CP3

<b>Diámetro espécimen (mm)</b>	100.3	<b>log [a(T)]</b>	<b>T</b>
$\delta$	1.62861076	3.7146917	-10
$\beta$	-0.7586522	2.7319386	4
$\alpha$	2.54257474	0	21
$\gamma$	0.43911661	-1.8881756	37
		-3.5561775	54

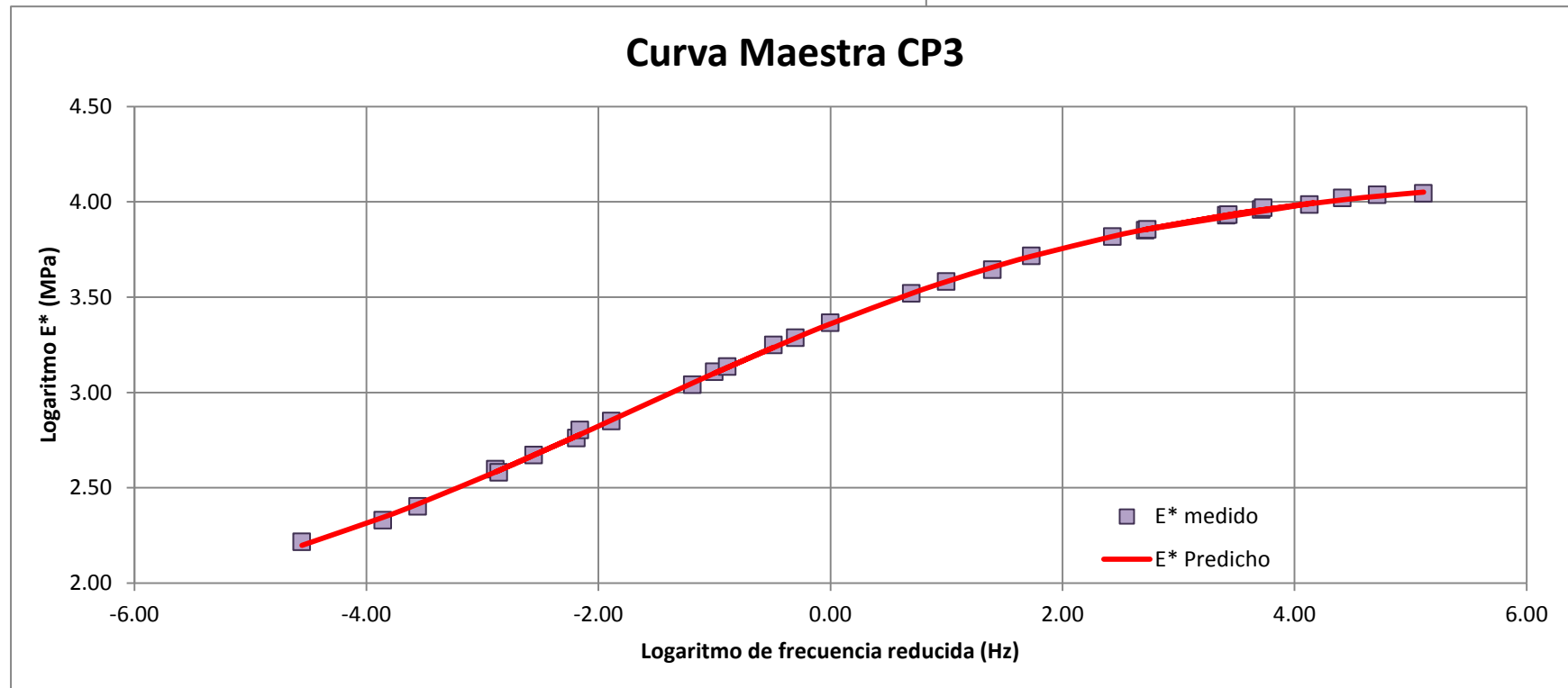
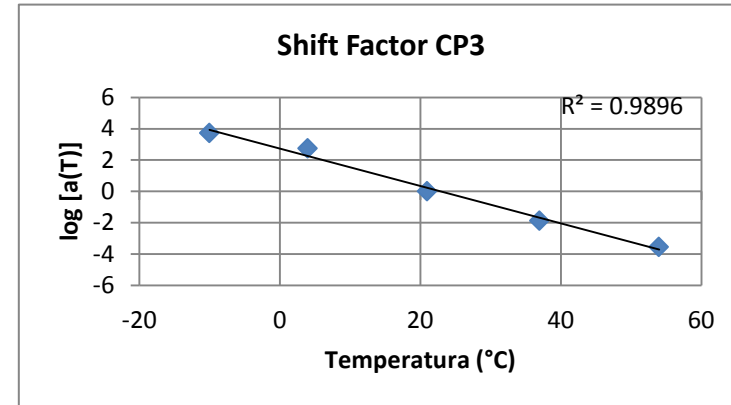
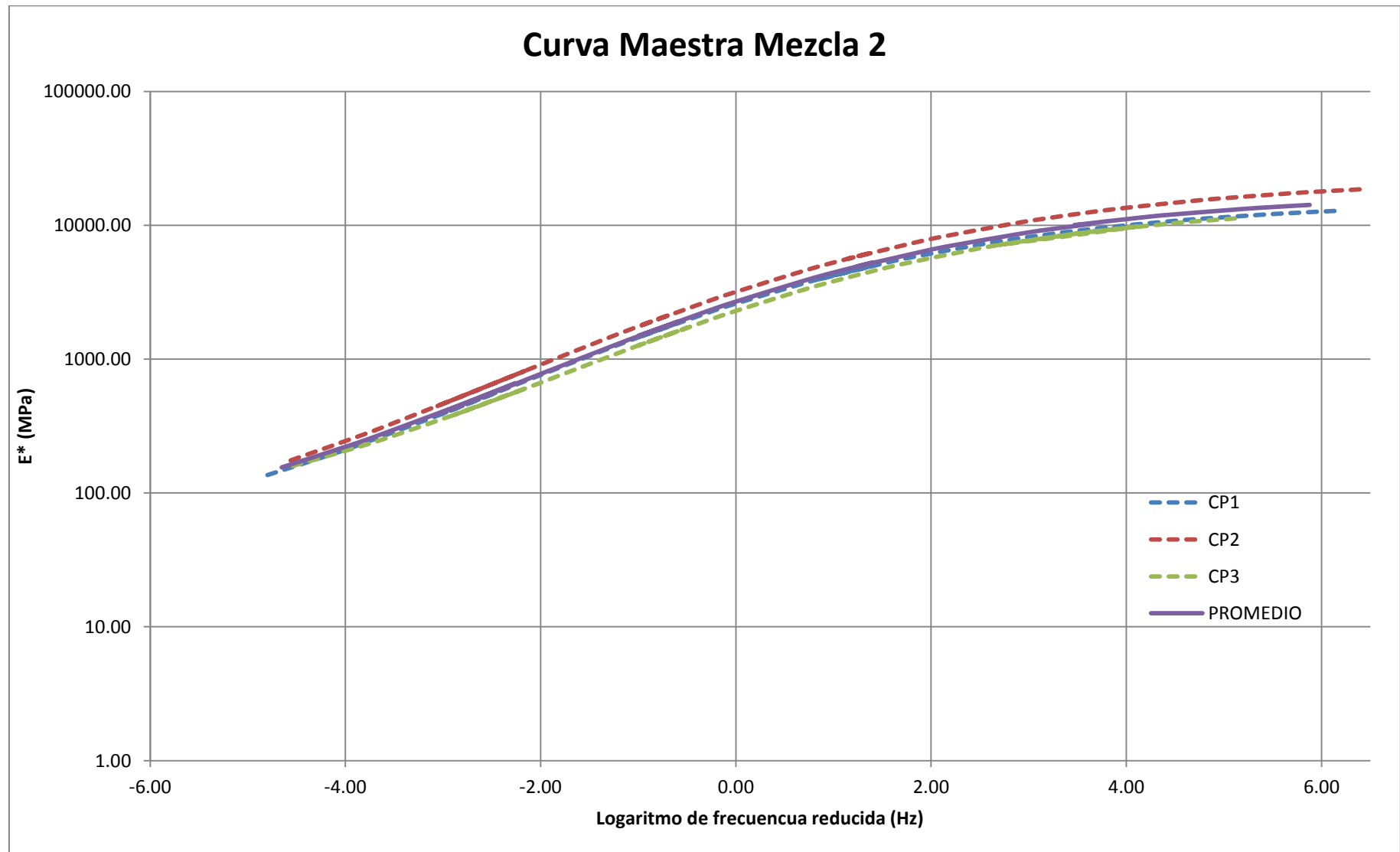


Figura. 3.14. Curva maestra de la Mezcla 2



3.2.3.3. Mezcla 3

Figura. 3.15. Curva maestra de la muestra A1

Diámetro espécimen (mm)	100.3	log [a(T)]	T
$\delta$	1.22959313	4.0047495	-10
$\beta$	-0.7608172	1.8233945	4
$\alpha$	3.07771578	0	21
$\gamma$	0.35134993	-1.9944229	37
		-4.0189671	54

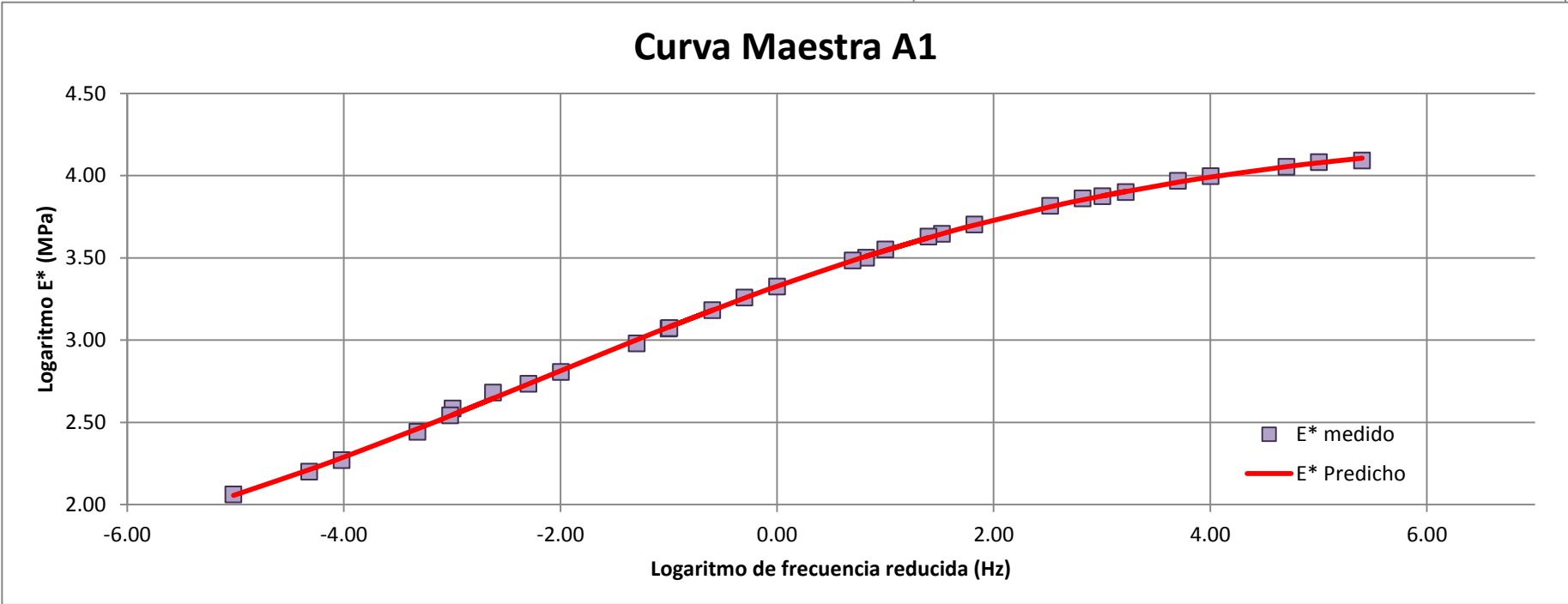
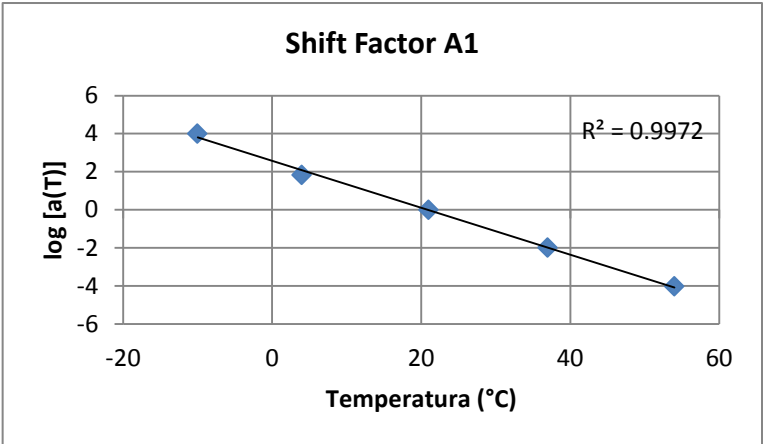


Figura. 3.16. Curva maestra de la muestra A2

<b>Diámetro espécimen (mm)</b>	100.3
$\delta$	1.35407183
$\beta$	-0.8667875
$\alpha$	2.96467258
$\gamma$	0.37555164

<b>log [a(T)]</b>	<b>T</b>
4.035326	-10
2.0069608	4
0	21
-1.775819	37
-3.5075895	54

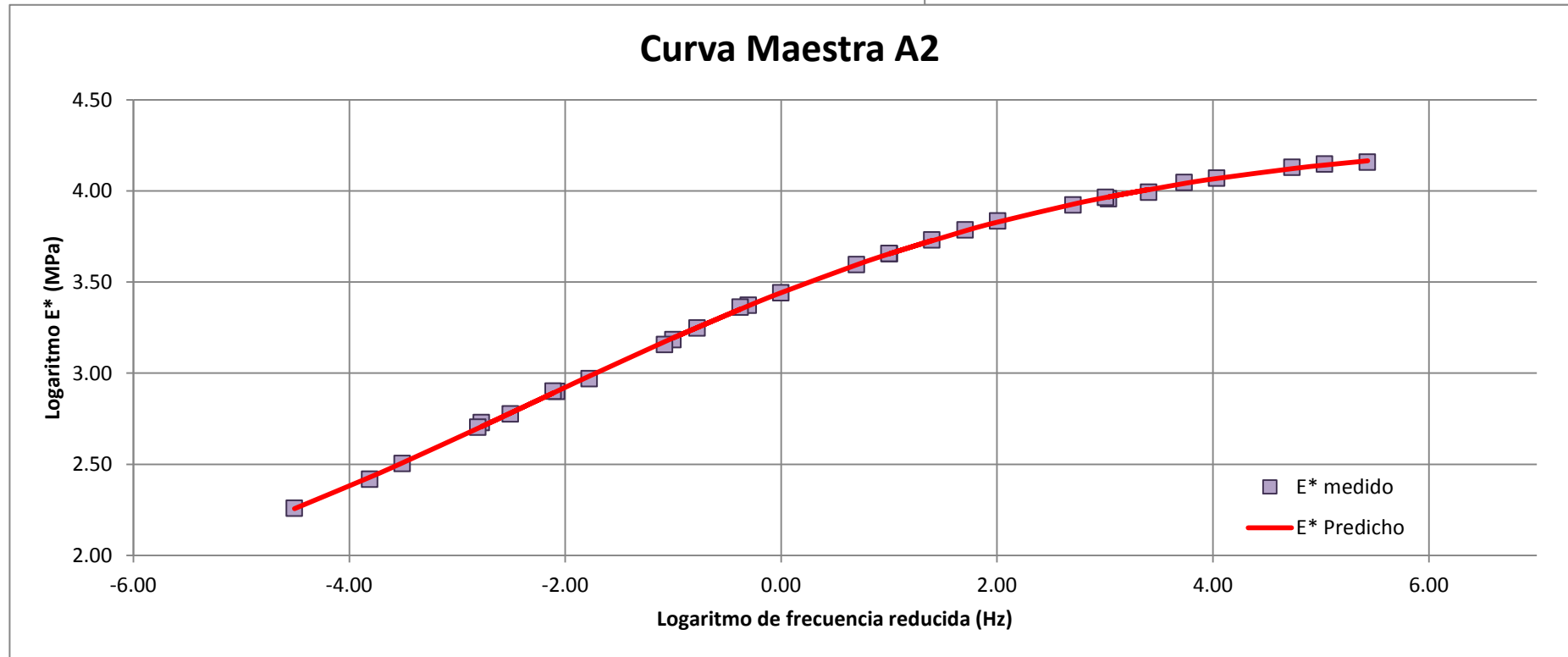
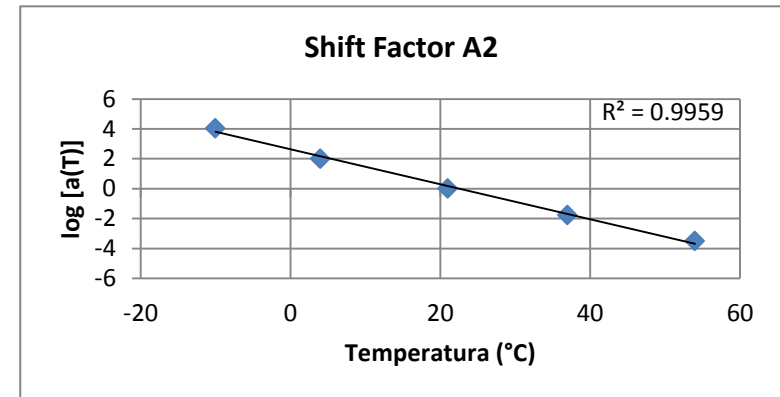


Figura. 3.17. Curva maestra de la muestra A3

<b>Diámetro espécimen (mm)</b>	100.3	<b>log [a(T)]</b>	<b>T</b>
$\delta$	1.58915815	3.6162381	-10
$\beta$	-0.8153854	2.3194924	4
$\alpha$	2.45351621	0	21
$\gamma$	0.43918736	-2.1328606	37
		-4.238788	54

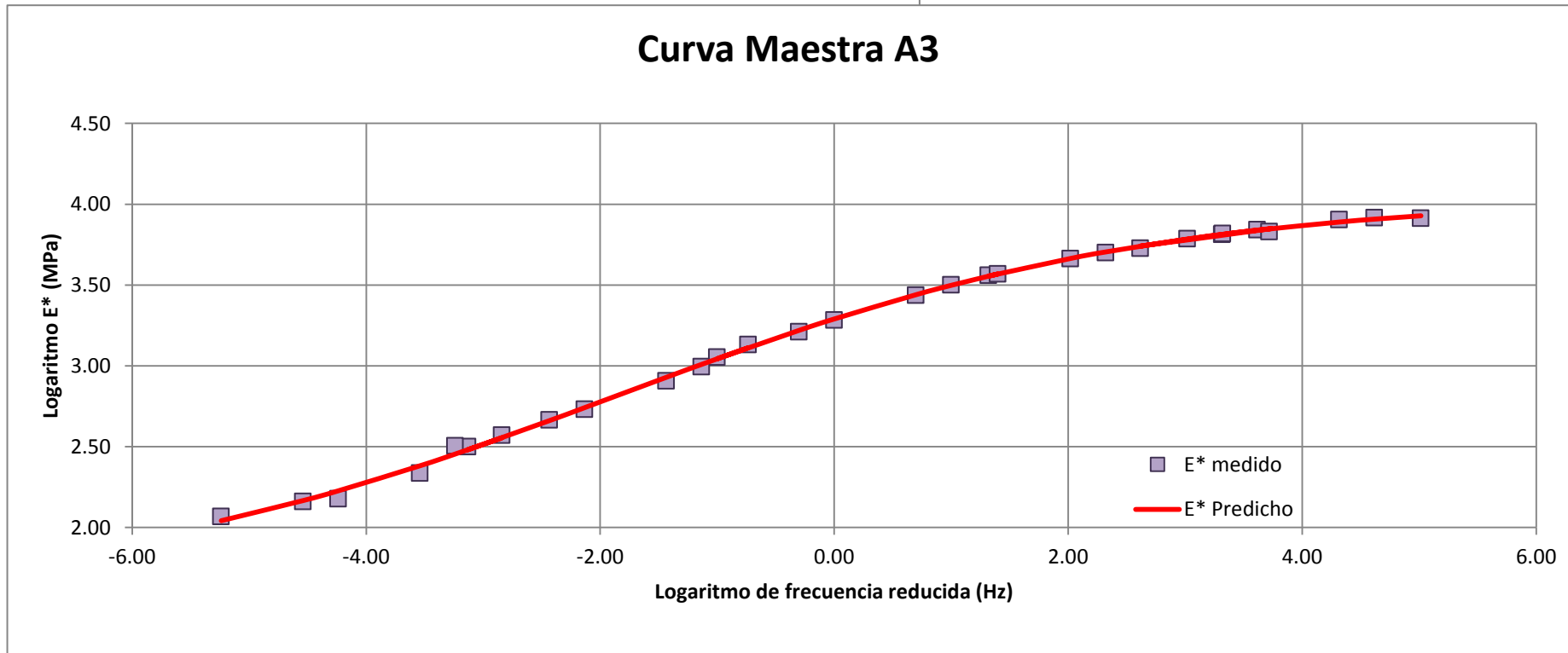
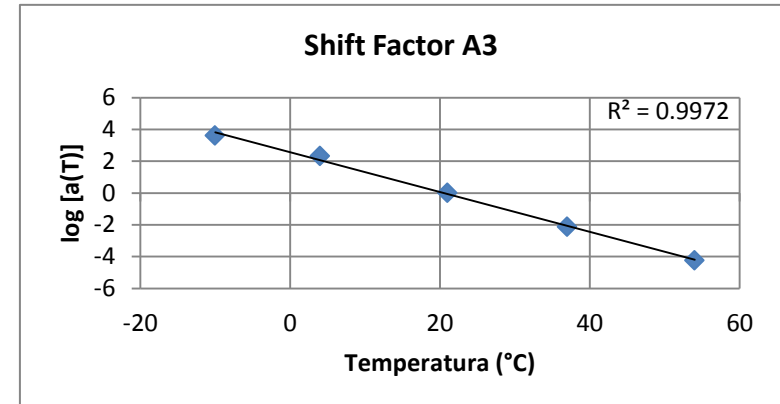
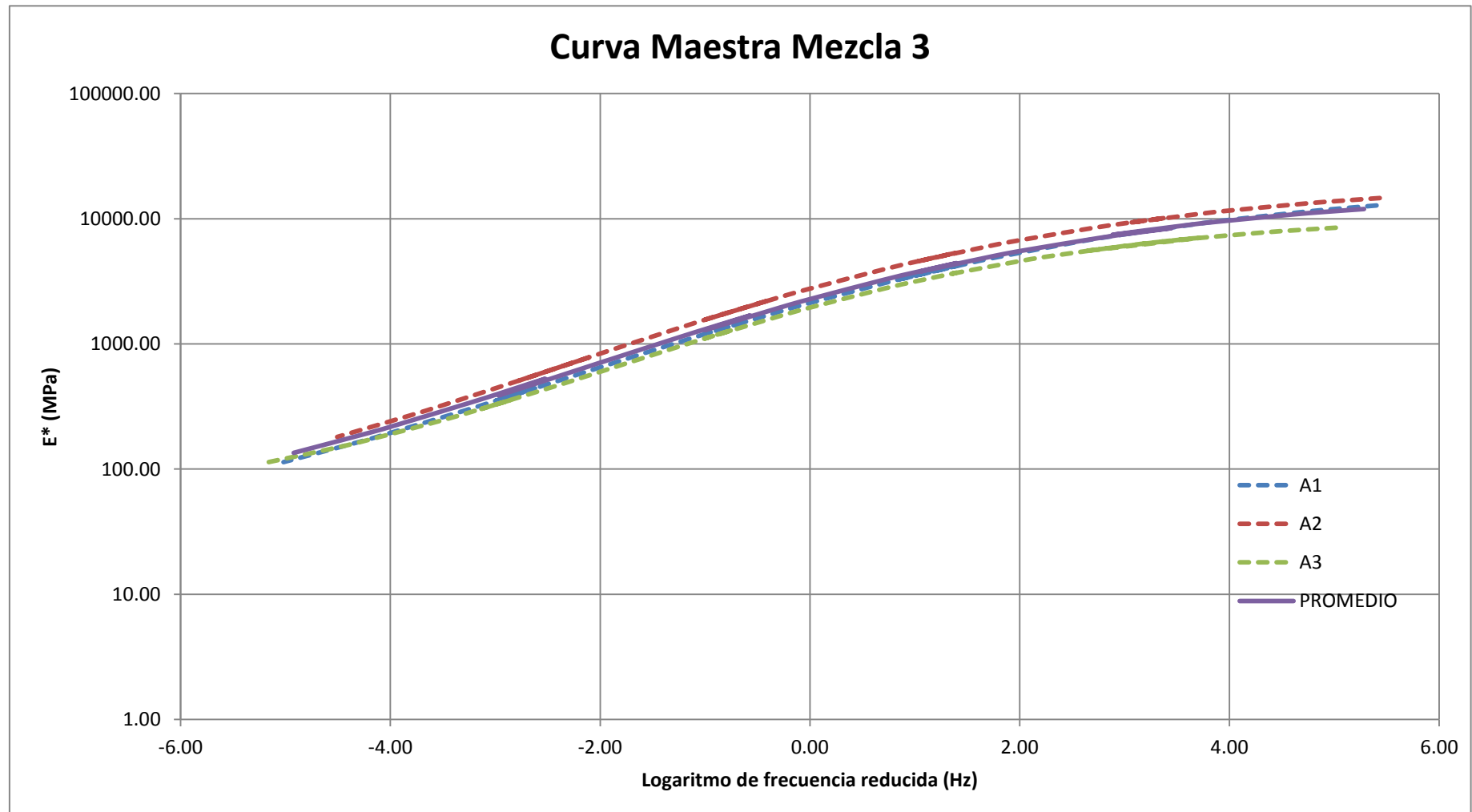


Figura. 3.18. Curva maestra de la Mezcla 3





### 3.2.4. Análisis de Resultados obtenidos en laboratorio

Para el análisis de los resultados, en una primera instancia se realizará la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y con los datos provistos en los diseños de las diferentes mezclas muestreadas.

Se resumen los resultados en la Tabla 3.13:

Tabla. 9.13. Tabla de resumen de los resultados obtenidos

TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS: MEZCLA 1 PCV				
RESULTADOS	GRANULOMETRÍA	RICE	CONTENIDO DE ASFALTO	GRAVEDAD BULK
DISEÑO DE PLANTA	Referirse a la Figura 3.2.	2.366	6.20	2.264
ENSAYOS DE LABORATORIO		2.359	6.08	2.293
TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS: MEZCLA 2 HCC				
RESULTADOS	GRANULOMETRÍA	RICE	CONTENIDO DE ASFALTO	GRAVEDAD BULK
DISEÑO DE PLANTA	Referirse a la Figura 3.4.	2.478	5.20	2.325
ENSAYOS DE LABORATORIO		2.471	4.93	2.393
TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS: MEZCLA 3 EQFALTO				
RESULTADOS	GRANULOMETRÍA	RICE	CONTENIDO DE ASFALTO	GRAVEDAD BULK
DISEÑO DE PLANTA	Referirse a la Figura 3.6.	2.260	6.20	2.166
ENSAYOS DE LABORATORIO		2.393	6.13	2.250

Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

#### Mezcla 1: PCV

Comparando los datos obtenidos en laboratorio y los datos entregados en el diseño de la Planta Naranjo – López se realiza el siguiente análisis. Con respecto a la granulometría se

puede observar que en la Figura 3.2. el ensayo realizado en laboratorio de las tres muestras son semejantes entre ellas, sin embargo con respecto a la granulometría de la mezcla de diseño existe cierta variación en las partículas gruesas, añadiendo a su vez que este grupo de partículas no entra en el rango de valores especificados en el libro Amarillo del MTOP.

En cuanto al valor de la Gravedad Especifica Máxima Teórica conocida como Rice, se tiene que la diferencia entre los valores de la planta y los obtenidos del laboratorio mostrados en la Tabla 3.13. es de 0.007 en valor absoluto, dando como resultado un porcentaje de 0.3% de error, con lo que se puede decir que este valor es aceptable y lo diseñado en planta es colocado en campo.

Analizando el contenido de asfalto se tiene que la diferencia es de 0.12% del ligante asfáltico entre lo obtenido en campo y el diseño de la planta Naranjo-López, siendo en porcentaje de error el 1.94%, con lo cual se quiere decir el ligante colocado corresponde al diseño realizado y se encuentra dentro del rango permitido por las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y MOP 001-F-2002, 405-5.04 (g) siendo el máximo admisible del 0.3% en peso.

Finalmente, comparando la Gravedad Especifica Bulk se tiene que la diferencia es de 0.029, dando como porcentaje de error el 1.28% entre los ensayos de laboratorio y el diseño de planta.

Por lo que se concluye que analizando los datos dados por la Planta y los obtenidos mediante ensayos de laboratorio son bastante cercanos asegurando de esta manera que lo planificado es lo que se coloca en campo.

## Mezcla 2: HCC

De los datos entregados en el diseño de la Planta El Colibrí, perteneciente a Herdoiza Crespo Constructora, y los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio se puede realizar el siguiente análisis:

Con respecto a la granulometría, se encuentra que en las partículas de mayor tamaño existe una diferencia notable con respecto a la curva de producción de la planta, sin embargo las tres muestras se encuentran cercanas entre sí, y su ubicación es cercana al límite del rango especificado en el Libro Amarillo.

Prosiguiendo con el análisis, se encuentra que con respecto a la Gravedad Específica Máxima Teórica, RICE, el error absoluto entre el valor de laboratorio y el dato otorgado en el diseño de la base asfáltica Tipo B es de 0.007, resultando así un error del 0.28%, siendo este valor aceptable e indica que el diseño elaborado por la planta se encuentra tendido en campo, asegurando de esta manera el comportamiento planificado por el diseñador de la estructura del pavimento.

A continuación, se observa que la diferencia existente entre el contenido de asfalto obtenido en el laboratorio mediante el uso del horno de ignición con respecto al contenido de asfalto diseñado es del 0.27% en peso, dando como resultado un error del 5.19%. Para saber el rango de variación nos regimos a lo indicado en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP – 001 – F 2002, en el numeral 404-5.04, el cual indica que se regirá al numeral 405-5.04, el porcentaje máximo de variación en peso del ligante asfáltico es del 0.3%. Comparando con el porcentaje de variación en peso se determina que se encuentra dentro del rango de error, por lo que es aceptable.

Finalmente, se tiene que la diferencia entre los valores de Gravedad Específica BULK es de 0.068 en valor absoluto entre el valor del laboratorio y el diseño entregado por la Planta, resultando en esta manera un error del 2.92%, siendo este un valor aceptable, y se asegura que la base asfáltica colocada en campo se encuentre de acuerdo con la base diseñada en la planta.

### Mezcla 3: EQFALTO

Analizando los datos obtenidos mediante los ensayos de laboratorio con las muestras obtenidas en campo y los datos obtenidos del Diseño de la Base asfáltica de la Planta EQFALTO se tiene las siguientes comparaciones:

En cuanto a la granulometría de los agregados se puede observar en la Figura 3.6. que para agregados finos se encuentran en concordancia con el diseño, sin embargo para los agregados gruesos existe una gran diferencia ya que las tres curvas de los ensayos realizados son bastante cercanas y se alejan de la curva de diseño, existiendo de esta manera posibles problemas de segregación en las volquetas o en planta.

Comparando la Gravedad Específica Máxima Teórica conocida como el ensayo RICE, se tiene que la diferencia entre los valores de los ensayos realizados en laboratorio y los del diseño en planta es de 0.133 dando así un porcentaje de error del 5.88%, lo cual no es significativo y se puede decir que está acorde la planificación con lo colocado en campo.

Continuando con el análisis, los valores de contenido de asfalto presentados en la Tabla 3.13. generan un error de 0.07% en peso, obtenido a partir de la diferencia entre el diseño y lo colocado en campo, dando como resultado un error del 1.13%. Este error es aceptable ya que en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP –

001 – F 2002, en el numeral 404-5.04 la diferencia entre estos valores puede ser del 0.3% de contenido de asfalto, cumpliendo de esta manera la norma.

Por último, en los valores de Gravedad Específica BULK se observa que existe una diferencia de 0.09 entre los valores obtenidos mediante los ensayos del laboratorio y los datos en el diseño de la Planta EQFALTO, dando como resultado un error del 4.17%, considerándolo como aceptable.

Concluyendo se puede mencionar que lo colocado en las vías de Amaguaña y lo planificado por la Planta EQFALTO es bastante semejante, presentando una diferencia considerable en la granulometría de los agregados.

### **3.2.5. Análisis de las Curvas Maestras**

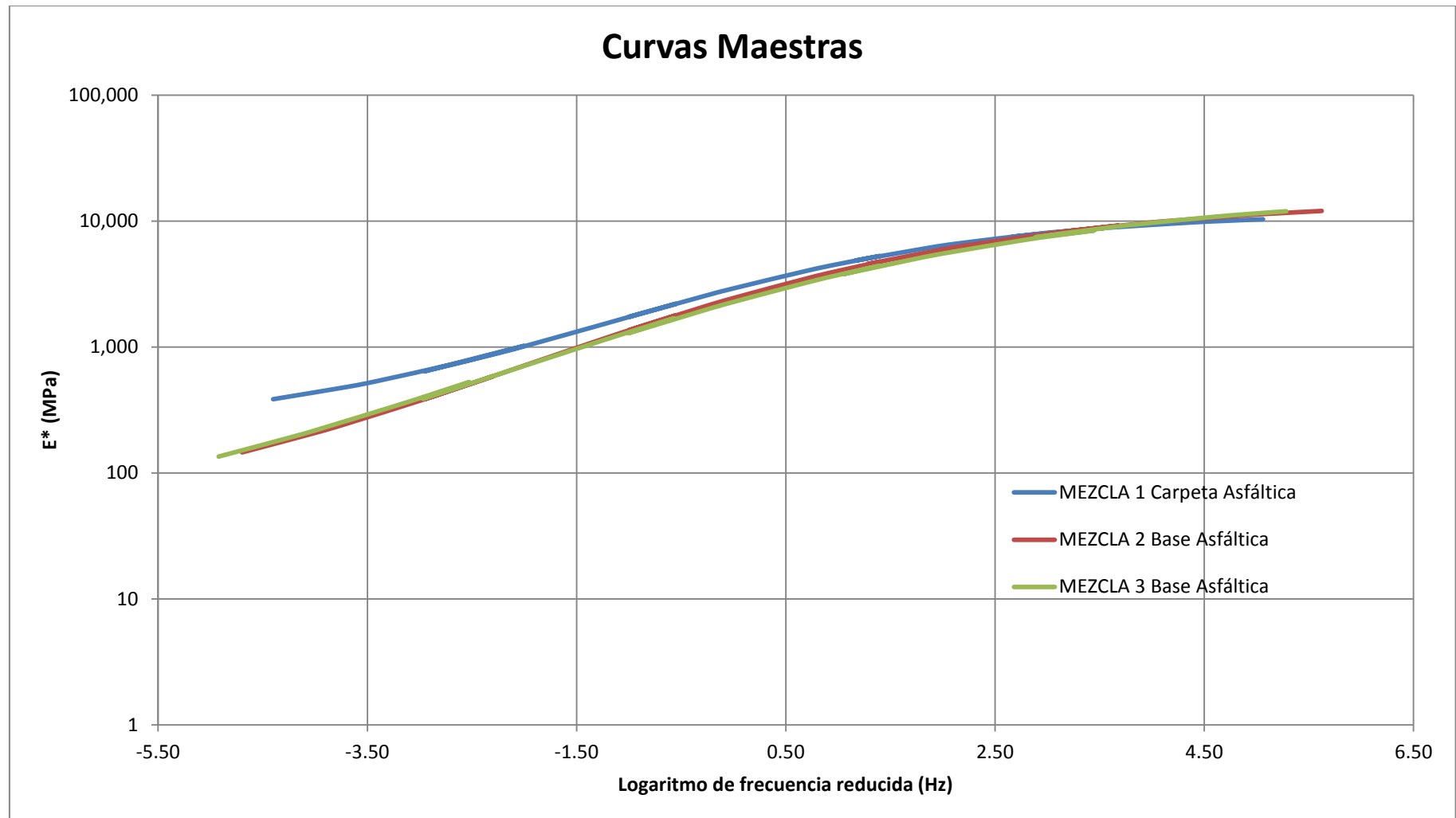
A continuación se muestra la Figura 3.19. Curvas Maestras de las tres mezclas, para poder tener un término de comparación y analizar diferentes aspectos que puedan afectar en la reología de los diseños. Teniendo así la Mezcla 1 de Carpeta Asfáltica, Mezcla 2 y 3 de Base Asfáltica.

Se debe tener en consideración que para la Mezcla 1 y la Mezcla 2, la probeta 2 en los dos casos tuvo variación con respecto a las probetas 1 y 3, por lo que se decidió eliminar los datos de esa probeta, logrando de esta manera reducir el error y tener una mayor similitud de la curva promedio con respecto a cada una de las probetas.

Un parámetro fundamental con el cual se basó para la eliminación de esos datos, fue al momento de la extracción del núcleo de la probeta 2, el cual no se realizó de una manera adecuada, produciendo así un problema en la ortogonalidad de las caras. Esto se refleja en que los LVDT's no se encontraban colocados de manera paralela, sino que uno presentaba una inclinación con respecto al otro. Y al momento de aplicar la carga la medición de

deformación de un LDVT va a ser menor que en la realidad, aumentando así el valor del módulo dinámico, dando un valor erróneo y alejado de la realidad. Además de tener el problema que los apoyos metálicos de las dos probetas antes descritas se despegaron a temperaturas altas del ensayo.

Figura. 3.19. Curvas Maestras de las tres mezclas



Fuente: Nathaly Noboa – Eduardo Vega

De las curvas presentadas en la Figura 3.19 Curvas Maestras de las tres mezclas, se pueden observar ciertas particularidades. En primer lugar, la Mezcla 2 y la Mezcla 3 tienen un comportamiento sumamente parecido dentro de todos los rangos de temperaturas y frecuencias de carga, esto pudo producirse ya que fueron diseñadas como base asfáltica, requiriendo un comportamiento similar, que sirva para el soporte y correcta transmisión de la carga que recibe la carpeta asfáltica a la sub-base o hacia la subrasante. Es interesante observar cómo se comportan de la misma manera sin importar el hecho que fueron dos clases de base distinta, la Mezcla 2 se encuentra especificada como Base Asfáltica tipo B, mientras que la Mezcla 3 es una Base Asfáltica tipo C.

En cuanto al análisis entre la Mezcla 1 y las Mezclas 2 y 3, se puede observar claramente que a temperaturas bajas se comportan de manera similar, alcanzando valores de módulo dinámico superiores a 10 000 Mpa, sin embargo, en el caso más desfavorable, de temperaturas altas y frecuencias bajas, referidas a cargas pesadas con velocidad de circulación bajas, existe una mejor respuesta con respecto a la Mezcla 1, debido a lo que se puede observar en la Figura 3.19. Esto se debe a que la carpeta asfáltica requiere de un mejor comportamiento, porque es la capa de la estructura del pavimento que va a estar en contacto directo con las cargas vehiculares y se encuentra expuesta a la intemperie, por lo que la variación de temperatura a lo largo del día tendrá mayor influencia en esta carpeta.



Se debe mencionar que las variables que se requiere ingresar en el programa NCHRP son los valores de  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , los mismos que se encuentran en la parte superior de los gráficos de curvas maestras en el numeral 3.2.3, teniendo en cuenta que no es recomendable usar los valores de la muestra T2 y CP2, encontradas en la Figura 3.18 y Figura 3.12 respectivamente, por las razones mencionadas con anterioridad.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. Conclusiones**

- Las Curvas Maestras mostradas en la Figura 3.19, son las curvas que se deben incorporar al catálogo de diferentes mezclas asfálticas que se encuentran en la región, sirviendo de guía para los diseñadores que deseen usar el Diseño Mecánico – Empírico M-E PDG propuesto por la AASHTO en el año 2002. Cumpliendo de esta manera el objetivo de la presente disertación de grado.
- La obtención del módulo dinámico de mezclas asfálticas en caliente para la conformación de una estructura de pavimento, es una información útil, ya que no solamente se analiza el comportamiento del material al estar sometido al efecto de una carga puntual, sino también se controla las variables de mayor incidencia en la manera en el que la mezcla asfáltica va a responder a lo largo de su vida útil, siendo las mismas la temperatura de servicio a la cual se encontrará la carpeta o la base asfáltica y la frecuencia de carga que se le aplicará a la estructura.
- Como se puede observar en el numeral 3.2.4. se realiza el control de las características de diseño de las diferentes mezclas obtenidas en campo, concluyendo de esta manera con el análisis antes descrito de los tres diferentes proyectos: Calle Cusubamba, Vía Pifo – Colibrí, y rehabilitación calles de Amaguaña, de las plantas: Planta Naranja – López, Planta El Colibrí y Planta EQFALTO respectivamente, los análisis obtenidos en laboratorio con respecto al diseño de cada una de las plantas, son semejantes y entran dentro del rango de variación permisible especificado en el Libro Amarillo del MTOP, presentando variación en las granulometrías obtenidas mediante ensayo en

laboratorio y la curva de producción, siendo la causa de este problema un posible caso de segregación de la mezcla en el medio de transporte o en la producción en planta, por lo que es un inconveniente que se debe corregir si se desea tener un comportamiento esperado a lo largo de la vida útil.

- Como se observa en el análisis realizado en el numeral 3.2.5, el comportamiento de las bases asfálticas se asemejan entre sí, sin importar que los parámetros de diseño hayan sido diferentes, Base Asfáltica Clase B y Clase C. Y con respecto a la curva maestra de la carpeta asfáltica, se puede demostrar que su comportamiento en temperaturas altas y frecuencias bajas debe ser mejor ya que esta es la capa que se encuentra expuesta a la intemperie y va a recibir la afectación directa de las variables antes mencionadas.

## **4.2.Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un mayor número de ensayos de módulo dinámico a diferentes tipos de mezclas que se pueden encontrar en el sector, para seguir ampliando el catálogo de curvas maestras que servirán de guía para los diseñadores.
- En cuanto a las briquetas del material obtenido en campo y compactado por medio del compactador giratorio en el laboratorio, que se ensayan a través del equipo Cooper CRT – HYD – 25, para la obtención del módulo dinámico, se deben colocar cuidadosamente los apoyos en las briquetas cuando estén sometidos a temperaturas altas debido a que el epóxico utilizado presenta inestabilidad a esas temperaturas, y se puede presentar el inconveniente que el apoyo se desprenda o que no otorga la sujeción debida al LDVT, dando resultados erróneos de deformación y por tal motivo error en el valor de módulo dinámico.

- Se recomienda seguir los protocolos de la norma para lo cual es necesario incorporar al equipo un sistema de soporte a los apoyos metálicos, como se menciona en la norma AASHTO TP 62 – 03. Para asegurar de esta manera la obtención de valores reales de módulo dinámico a altas temperaturas.
- Para poder controlar de mejor manera la temperatura, cuando la puerta del equipo es abierta, se puede implementar un cuarto de ambientación para que la temperatura dentro de la cámara no se vea afectada por la manipulación de varias probetas a la vez.
- Se sugiere tener cuidado en la extracción de los núcleos que servirán de probetas para el ensayo de módulo dinámico, ya que se debe asegurar que las caras se encuentren perpendiculares entre sí, y de esta manera regularizar las deformaciones que se producirán en las mismas al momento de ser ensayadas. Para lograr este objetivo se puede tener una base fija, la cual asegure que la muestra no se mueva al momento de la extracción.
- Para evitar problemas de segregación en la toma de muestras, se recomienda realizar este trabajo a partir de la tercera volqueta de producción de la planta, dando lugar a la regularización en la fabricación de la mezcla.

## BIBLIOGRAFÍA

1. I.N.V.E. *I.N.V.E. – 754 07 - Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas*. Internet.  
[ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-754-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-754-07.pdf). Acceso (21 de enero de 2014).
2. AASHTO. *AASHTO – TP -62 – 03 – Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures*. Washington, 2003.
3. Li & Williams. “A Practical Dynamic Modulus Testing Protocol”. Journal of Testing and Evaluation, Vol. 40, No. 1. 2012
4. AASSHTO. “Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide”. USA, 2008
5. Witczak. “Development of a Master Curve ( $E^*$ ) Database for Lime Modified Asphaltic Mixtures”. Internet.  
[http://www.lime.org/documents/publications/free\\_downloads/master-curve.pdf](http://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/master-curve.pdf).  
Acceso: (28 de enero de 2014).
6. García, Gabriel. “Módulo Dinámico de Mezclas Asfálticas”. Internet.  
<http://www.seminariorecapados.usm.cl/presentaciones/Gabriel%20Garcia-1.pdf>.  
Acceso: (21 de enero de 2014).
7. Romero & Myers. “Caracterización de Mezclas Asfálticas para el Diseño Mecánico – Empírico de pavimentos”. Internet.  
[http://www.lanamme.ucr.ac.cr/riv/index.php?option=com\\_content&view=article&id=242&Itemid=282](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/riv/index.php?option=com_content&view=article&id=242&Itemid=282). Acceso: (28 de enero de 2014).
8. NCHRP (National Cooperative Highway Research Program). “Refining the Simple Performance Tester for Use in Routine Practice”. Internet.  
[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp\\_rpt\\_614.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp_rpt_614.pdf).  
Acceso: (28 de enero de 2014).

9. Higuera. Naranjo. Cetina (2011). Determinación del Módulo Dinámico por correlaciones. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la UTPC*. Internet. [dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3758445.pdf](http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3758445.pdf). Acceso: (28 de enero de 2014)
10. SEGOVIA, J. (2010). Construcción de curvas maestras de una fórmula experimental de una mezcla asfáltica en caliente utilizando materiales del Distrito Metropolitano de Quito. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*.
11. Alley, Robert. “Properties of Asphalt Modulus”. Internet. [http://www.ehow.com/info\\_11401287\\_properties-asphalt-modulus.html](http://www.ehow.com/info_11401287_properties-asphalt-modulus.html). Acceso (28 de enero de 2014).
12. Ulloa, A. Elizondo, F. Badilla, G. (2007). “Módulos de Mezcla Asfáltica”. Internet. <http://www.asamblea.go.cr/Lanamme%20UCR/Informes%202007/2007/UI-03-07%20MODULOS%20DE%20MEZCLA%20ASFALTICA.pdf>. Acceso (18 de febrero de 2014).
13. MOP 001-F-2002, Especificaciones Generales para la Construcción de Puentes y Caminos, Quito – Ecuador.

#### **Normas de referencia:**

1. ASTM C 136 – 01: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
2. ASTM D2041/D2041M – 11: Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures.
3. AASHTO T 308: Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Method.

4. ASTM D2726 – 11: Standard Test Method For Bulk Specific Gravity and Density Of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures
5. AASHTO TP 62-03: Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures

# ANEXOS